Brita Willershausen-Zönnchen

Ergebnisse der Nervennaht und Nerventransplantation nach Verletzungen peripherer Nerven

Diss. München
1983

STATE LIBRARY

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544308_0011

Aus der Chirurgischen Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. L. Schweiberer

Ergebnisse der Nervennaht und Nerventransplantation nach Verletzungen peripherer Nerven

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwigs-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Brita Willershausen-Zönnchen
aus
Heidelberg

Jahr
1983

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. K. Wilhelm
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. L. Schweiberer
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.7.1983

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

FÜR BERNHARD

Herrn Prof. K. Wilhelm danke ich für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für die hilfreichen Diskussionen und das mir stets entgegengebrachte Wohlwollen.

Ferner möchte ich mich bei Herrn Dr. Ch. Feldmeier für die freundliche Unterstützung bedanken.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	1
1.1.	Problemstellung der Nervennähte und Nerventransplantationen	1
1.2.	Historischer Überblick	3
2.	Anatomie der peripheren Nerven	5
2.1.	Makroskopische und mikroskopische Anatomie	5
2.2.	Topographische Anatomie	12
2.2.1.	N. Medianus	12
2.2.2.	N. Ulnaris	16
3.	Regeneration und Degeneration der peripheren Nerven nach Verletzungen	19
3.1.	Einteilung der Nervenläsionen nach Art der Verletzung	19
3.2.	Histologische Erscheinungen nach Nervenverletzungen	21
4.	Operative Methoden der Nervennaht und Nerventransplantationen	27
5.	Nachuntersuchungsmethoden	31
5.1.	Krankengut	31
5.2.	Spezielle Unterlagen - Fragebögen	31
5.3.	Prüfung der Motorik	35
5.4.	Prüfung der Sensibilität	40
5.5.	Beurteilung der Sensibilität und der Motorik	40
5.6.	Neurologische Untersuchungsmethoden	44
6.	Nachuntersuchungsergebnisse	47
6.1.	Verteilung auf Geschlecht, Beruf und Verletzungsursache	47

6.2. Abhängigkeit des Resultates der Nervennaht vom Alter des Patienten und von dem Zeitintervall zwischen Trauma und Operation 50
6.3. Nervennähte 51
6.4. Nerventransplantationen 57
6.5. Tabellarische Zusammenfassung aller Patienten 62
6.6. Vergleich der Resultate von Nervennähten mit den Resultaten anderer Autoren 62

7. Diskussion der Ergebnisse 72

8. Zusammenfassung 78

9. Literatur 80

10. Lebenslauf 89

1. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung der Nervennähte und Nerventransplantationen

Verletzungen der peripheren Nerven treten heute durch zunehmende Mechanisierung und durch Verkehrsunfälle immer häufiger auf.
Es handelt sich dabei sowohl um offene, wie auch um gedeckte Verletzungen.
Relativ häufig sind Schnittverletzungen des N. medianus und N. ulnaris, die abgesehen von Suicidversuchen, zum Beispiel am Handgelenk durch Fall in Glasscheiben hervorgerufen werden.
Eine alleinige Regeneration der Nerven ist im Prinzip möglich, tritt aber selten auf.
Der Wiederherstellungsmechanismus läuft sehr langsam ab, wobei sich die beiden Stümpfe nach der Nervendurchtrennung zurückziehen und somit eine Kontinuitätsunterbrechung mit sich ziehen.
Nervennähte, primär oder sekundär durchgeführt, waren lange Zeit nicht sehr erfolgversprechend.
Vor der Einführung des Mikroskopes konnte in ca. 50% der Fälle mit einer Rückkehr der Sensibilität bei Verletzungen der N. medianus und N. ulnaris gerechnet werden (55).

Die Funktion der kleinen Handmuskulatur war nach Durchtrennung des N. ulnaris in Pulshöhe nur in ca. 25% wiedererlangt worden. Die N. ulnaris und N. medianus sind für die Funktion der Hand die wichtigsten Nerven.
Der Ausfall einer der beiden Nerven bringt einen teilweisen Verlust der Handfunktion mit sich.
Der Ausfall beider Nerven bewirkt einen Verlust der Handfunktion, was wiederum mit einer Invalidität verknüpft ist.

1964 wurde vom Smith das Operationsmikroskop als Hilfsmittel für periphere Nervennähte eingeführt (48). Dadurch war es nun wesentlich besser möglich, die durchtrennten Enden genauer anzupassen.
Die schlechten Resultate, die für längere Zeit erreicht wurden, waren für viele Anlaß zu intensiven Bemühungen, die Technik der Nervennaht zu verbessern.
Heute weiß man, daß für das Gelingen einer Nervennaht viele Faktoren eine Rolle spielen.
Es ist unter anderem entscheidend, daß die Operation so schnell und einfach, doch so exakt und schonend wie möglich durchgeführt werden sollte (1).

Folgende Gesichtspunkte, wie Lebensalter, Begleitverletzungen, Ort bzw. Höhe der Nervenverletzungen, Zeitpunkt der Operation, Ausdehnung der Nervenverletzungen, Fehler der operativen Technik und postoperative Störungen, Vor- und Nachbehandlung sind ebenfalls für das Gelingen einer Nervennaht von großer Bedeutung.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit besteht darin, aufzuzeigen, wie die einzelnen Faktoren, die eine Nervenregeneration beeinflussen können, zu beurteilen sind.

1.2. Historischer Überblick

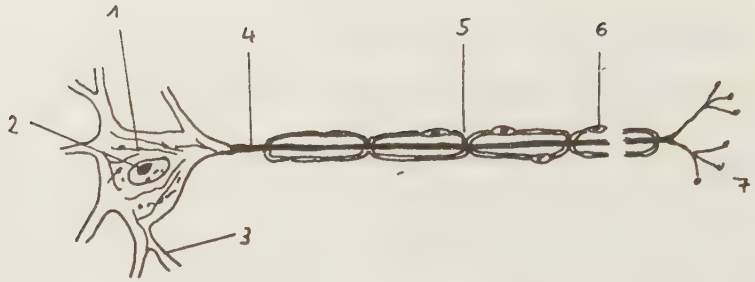
Eine klare Unterscheidung zwischen Nerven und Sehnen läßt sich in den Schriften der hippokratischen Ärzte (450 - 350 n.Ch.) noch nicht nachweisen.
Im 3. vorchristlichen Jahrhundert wurde von alexandrinischen Ärzten (Erasistratos u.a.) nicht nur die Sonderstellung der peripheren Nerven erkannt, man lernte sehr wahrscheinlich auch schon zwischen sensiblen und motorischen Nerven zu unterscheiden (32).
Vermutlich von dort hat dann Galen (129-199) dieses Wissen übernommen. Er spricht in seinen Schriften von harten (motorischen) und weichen (sensiblen) Nerven.
Bei ihm ist eine eindeutige Definition zu finden, was als Nerv zu bezeichnen ist, nämlich das, "was aus dem Gehirn oder Rückenmark entspringt".
Nach seiner Auffassung strömt der in den Gehirnventrikeln gebildete "Spiritus animalis" durch die innen als röhrenartig angesehenen Nerven bis in die Endfasern.
Diese Theorie der Nervenfunktion blieb bis ins 17. Jahrhundert hinein gültig.
Die Möglichkeit einer Nervennaht wird zuerst von Paul von Algina (625-690 n.Ch.) erwähnt.
Allerdings führte er die Nervennaht so aus, indem er die Umgebung der Nerven fest aufeinander heftete.
Diese Methode, später von dem Perser Rhades (860-932 n.Ch.) ebenfalls gefordert, sah man bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts als richtig an.
Die direkte Naht des Nerven wurde wegen der Gefahr von Nervenkrämpfen abgelehnt.
Dagegen forderte Avicenna (980-1037) die dichte Naht des verletzten Nerven, welche er für unbedingt notwendig

für die Heilung erachtete (37).
Eine Nervennaht schien auch gegen den Wiederstand der meisten Chirurgen in den folgenden Jahrhunderten immer wieder versucht worden zu sein.
Guy de Lanliac (1300-1368) berichtete so z.B. von guten Ergebnissen bei Nervennähten insbesondere bei Jugendlichen.
Eine neue Phase der Entwicklung wurde auf anatomischem Gebiet durch den von Felice Fondana (1730-1805) mit mikroskopischen Untersuchungen erbrachten Nachweis eingeleitet, daß es im Innern der Nerven keine Hohlräume gibt.
Ein wirkliches Interesse der Ärzte an den Erkrankungen der peripheren Nerven setzte erst Mitte des vorigen Jahrhunderts ein. Eine Ausnahme bildete lediglich das als Ischialgie bezeichnete Krankheitsbild (20,41).
Das von Romberg 1840 bis 1846 in erster Auflage herausgebrachte "Lehrbuch der Nervenkrankheiten" (38) ist mit Recht als klassisch und epochemachend bezeichnet worden.
C. Nasse war 1838 der erste, der unter dem Mikroskop die Veränderungen am durchschnittenen Nerv studierte.
Ihm fiel der Markscheidenzerfall und die Auflösung der Fette auf.
Der weitere Fortschritt, der an die Namen Walter, Schwann, Ranvier u.a. geknüpft ist, führte schließlich zur heutigen Kenntnis der Degeneration und Regenerationserscheinungen am durchschnittenen Nerven.
Die Kenntnis über die sekundären Veränderungen an den Nervenenden nach Verletzungen der Nerven (59), die Einteilungen in die verschiedenen Typen der Nervenverletzungen (46,53), das Feststellen von Regenerationserscheinungen bei klinischen Untersuchungsmethoden (56) haben zur heutigen Einsicht bei der Behandlung von Patienten mit peripheren Nervenschäden geführt.

2. ANATOMIE DER PERIPHEREN NERVEN

2.1. Makroskopische und mikroskopische Anatomie

Ein peripherer Nerv stellt sich als weißer Strang dar, läßt sich relativ schwer von einer Sehne unterscheiden und hat einen ovalen Durchmesser.
An der Oberfläche können oft längs verlaufende Blutgefäße wahrgenommen werden.
Nach strukturellen Unterscheidungsmethoden läßt sich das periphere Nervensystem in 5 Abschnitte unterteilen: In den zentralen, subarachnoidalen, intravaginalen (37), ganglionradikulären und peripheren Abschnitt, wobei nur dieser dem eigentlichen Begriff der peripheren Nerven entspricht. Er erhält als gemischter Nerv sowohl motorische und sensible als auch vegetative Nervenfasern.
Aus diesen Nervenfasern sind an seinem Aufbau noch ein Gefäßsystem und Bindegewebshüllen beteiligt (18).
Seit den klassischen Untersuchungen von Key und Retzius (1876) sind dafür die Bezeichnungen Endoneurium, Perineurium und Epineurium in der Literatur eingebürgert, die aber erst heute nach der Aufdeckung der Feinstrukturen eindeutig abgegrenzt werden können.
Ein typisches spinales motorisches Neuron (Abb.1), zeigt zahlreiche Fortsätze (Dendriten) die vom Zellkörper ausgehen und sich vielfältig verzweigen.
Von einer dichten Stelle des Zelleibes, dem Axonhügel geht ein langes, faserförmiges Axon aus (10). Kurz nach seinem Ursprung erhält das Axon eine Myelinscheide. Diese umhüllt das Axon mit Ausnahme des Endes und der in etwa 1 mm Abständen gelegenen periodischen Einschnürungen (Ranviersche Schnürringe).
Das Axon endet in einer Zahl von Endknöpfen (Axo-Telodendichten). Manche Neurone von Säugern und die meisten



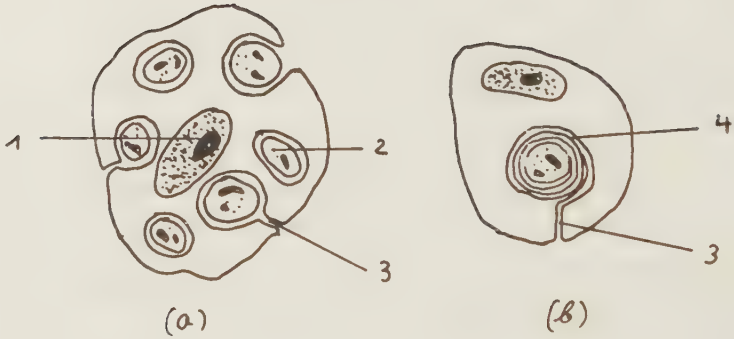


Abb.: 1
Motorisches Neuron mit myelinisiertem Axon
1 Zellkörper, 2 Zellkern,
3 Dentriten
4 Initiales Axonsegment
5 Ranvierscher Schnürring
6 Schwannsche Zelle
7 Endknöpfe

Abb.: 2
Beziehung der Axone zu Schwannschen Zellen zu nicht - myelinisierten a) und myelinisierten b) Nerven
1 Kern,
2 Axon
3 Mexaxon
4 Myelin

Neurone der Wirbellosen sind myelinfrei.
Bei den nichtmyelinisierten Neuronen ist das Axon zwar von Schwannschen Zellen umhüllt, doch kam es nicht zur Rotation des Axons und der daraus resultierenden Vielschichtigkeit der Membran (Abb.2).
Die Nervenfasern bilden das funktionell wichtigste Element der Nerven.
Ihr Prototyp, die markreiche Faser läßt 3 Bauelemente erkennen, den Achsenzylinder, die Markscheide und die Schwannsche Zelle. Der Achsenzylinder (Axon), der plasmatische Fortsatz der Ganglienzelle, verläuft ohne jede Unterbrechung der Kontinuität durch den peripheren Nerv bis hin zu den Endaufzweigungen. Er wird jedoch in regelmäßigen Abständen im Bereich der Ranvierschen Knoten auf etwa die Hälfte seines Durchmessers eingeschnürt.
In markreichen Nervenfasern ist der Achsenzylinder von einer myelinhaltigen Markscheide umgeben. Diese hat große Bedeutung für die Erregungsleitung, da sie für die salvatorische Erregungsleitung verantwortlich ist (8).
Jedem Marscheidensegment ist eine Schwannsche Zelle zugeordnet. Ihr relativ großer Kern liegt etwa in der Mitte zwischen 2 Ranvierschen Knoten (42).
Zwischen dem Kaliber einer Nervenfaser, ihrer Gesamtlänge und der Größe der zugehörigen Ganglienzelle besteht eine enge Beziehung.
Von diesen Gegebenheiten hängt wiederum die Leitungsgeschwindigkeit der betroffenen Faser ab.
Erlanger und Grasser haben deshalb 3 Fasertypen nach morphologischen und physiologischen Kennzeichen unterschieden:

1.) Gruppe A: 5-20 µ Durchmesser
Leitungsgeschwindigkeit 10-120 m/sec
schnelleitende motorisch-efferente und sensibel-afferente Fasern mit kurzer Refraktärzeit

2.) Gruppe B: Bis 5 µ Durchmesser
Leitungsgeschwindigkeit 2-15 m/sec
zum größten Teil vegetative Fasern

3.) Gruppe C: Markarm, unsegmentiert
Leitungsgeschwindigkeit 0.7 - 2 m/sec

Längste Refraktärzeit, hauptsächlich vegetative Fasern, enthalten die langsame Komponente der Schmerzleitung. Die Nervenfasern sind innerhalb der peripheren Nerven zu Nervenfaserbündeln zusammengefäßt und werden von einer eigenen Bindegewebshülle, dem Endoneuralrohr umgeben.

Endoneurium

Innerhalb der Nervenfaserbündel herrscht ein lockeres feinfasriges Bindegewebe vor, das Endoneurium, welches die Räume zwischen den einzelnen Nervenfasern ausfüllt und eine gewisse Verschieblichkeit der Nervenfasern untereinander gewährleistet (Abb.3).
Das Endoneurium besteht aus hauptsächlich längsorientierten Kollagenfibrillen, die oft in dicht gepackten Blocks liegen. Die Kollagenfasern um dichtere markhaltige Fasern sind in 2 Schichten zu trennen, eine äußere längs verlaufende Faser und eine innere Schicht, die zirkulär, longitudinal oder schräg verläuft.
Von der Gesamtzellpopulation im Endoneurium sind nach Thomas ca. 25% Fibroblasten, 20% Endothelzellen der Capillaren und ca. 45% Schwannsche Zellen.

Perineurium

Für die Neurochirurgen ist das Perineurium für Nervennaht und Nervenregeneration die wichtigste Membran.

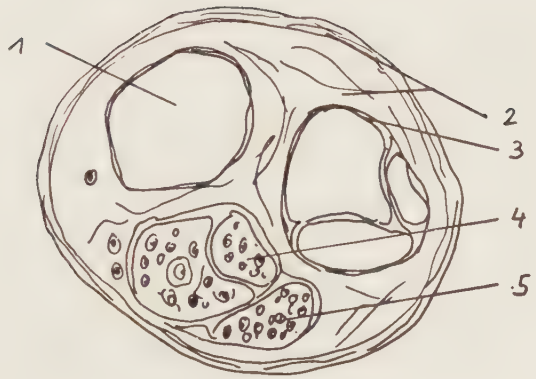


Abb.: 3
Querschnitt eines peripheren Nerven
1 Faszikal
2 Epineurium
3 Perineurium
4 Endoneurium
5 Axon

Es umhüllt eine bestimmte Anzahl von Nervenfasern zu einem Bündel oder Faszikel.
Das wichtigste Merkmal des Perineuriums ist die enge Apposition zwischen den Zellen einer einzigen Schicht. Die Struktur spricht dafür, daß die früher nicht genau lokalisierte Diffusionsbarriere des Nerven im Perineurium zu suchen ist.
Nach den elektronischen Untersuchungen von Thomas besteht das Perineurium aus konzentrischen Schichten abgeflachter Zellen, die zirkulär um den Nervenfaszikel unter dem Epineurium angeordnet sind. Die Zellen sind charakteristisch verzahnt und durch enge Verbindungen (tight junctions) verbunden. Zwischen den Lamellen liegen Kollagenfasern, die wie im Epineurium hauptsächlich longitudinal angeordnet sind. Gelegentlich kommen elastische Fasern mit Mikrofibrillen verbunden vor.

Epineurium

Die einzelnen Faszikel werden schließlich durch das lockere Verschiebungen zulassende Bindegewebe des Epineuriums zu peripheren Nerven zusammengeschlossen und gegen die Umgebung abgegrenzt.
Das Bindegewebe enthält derbe Kollagenfaserbündel und ein Netz elastischer Fasern, welche zur Anpassungsfähigkeit der Nerven an unterschiedliche Spannungszustände führen.
Zudem beinhaltet das Epineurium Fettgewebe, Markzellansammlungen, vereinzelt multipolare Ganglienzellen und die größeren Lymph- und Blutgefäße.

Der Aufbau der Nevenstämme erhält durch die innere Plexusbildung bzw. durch die intraneurale Anatomisierung der Faszikel sein besonderes Gepräge.
Die einzelnen Bündel, welche Nervenfasern verschiedener Herkunft und Bestimmung enthalten, ändern ihre Position im Inneren des Nervenstammes, verzweigen sich oder verschmelzen wechselseitig miteinander.
Diese Umorganisation ist die Erklärung für den ständigen Wechsel des Faszikelmusters im Verlauf eines Nerven. Die innere Plexusbildung ist jedoch weder seitenkongruent noch für den gleichen Nerven bei verschiedenen Individuen konstant.
Nervenfasern, welche gemeinsam als Seitenast den Stamm verlassen wollen, treten so z.B. erst kurz vorher zu einigen engen Bündeln der sogenannten Astbahn zusammen.

2.2. Topographische Anatomie des N. medianus und N. ulnaris

2.2.1. N. medianus

Der N. medianus erhält motorische und sensible Nervenfasern aus den beiden Medianuszinken, dem Faszikulus medialis (C_8, Th_1) und dem Faszikulus lateralis (C_5-C_7) (Abb.4, 9).
Mit den Armgefäßen gelangt er am Oberarm in den Sulcus bicipitalis medialis und rückt im weiteren Verlauf gegen die Ellenbeuge zu an die mediale Seite der A. brachialis. In der Ellenbeuge verstärkt ein von der Bizepssehne nach mesial abzweigender Faserzug die Faszie ("Lacertus fibrosus"). Unter dem Lacertus fibrosus gibt der N. medianus Äste zu einer Reihe von Vorderarmmuskeln ab (M. pronator teres, M. flexor carpi radialis, M. palmaris longus, M. flexor digitorum suberficialis). Der Stamm der Nerven verläßt die Ellenbeuge, indem er zwischen den beiden Köpfen des M. pronator teres in die Tiefe tritt.
Der N. medianus und die Gefäße werden durch den M. brachialis gegen das Ellenbogengelenk abgepolstert, was häufig eine direkte Nervenverletzung bei Frakturen verhindert.
Durch den M. pronator teres gelangt der N. medianus unter die Ursprungssehne des M. flexor digitorum superficialis. An der Unterseite des oberflächlichen Fingerbeugers zieht er in der Medianlinie des Vorderarmes distalwärts. Distal vom M. pronator teres gibt er den N. interosseus anterior ab, welcher zwischen dem M. flexor policis longus und dem M. flexor digitorum profundus bis zum M. pronator quadratus reicht. Er innerviert die obigen Muskeln mit Ausnahme der beiden ulnaren Bäuche des M. flexor digitorum profundus für die Finger IV und V.

Abb.: 4
Verlauf des N. medianus, allgemeine Übersicht

8 M. flexor carpi ulnaris
9 M. pronator teres
10 M. flexor carpi radialis
11 M. flexor digitorum superficialis
12 M. palmaris longus
13 M. flexor polliais longus
14 M. pronator quadratus
15 M. abductor pollicis breves
16 M. flexor digitorum profundus II-III

Feine Äste gehen auch an die Unterarmknochen und an das Handgelenk. Proximal vom Handgelenk tritt der N. medianus aus der geschützten Lage zwischen dem oberflächlichen und dem tiefen Fingerbeuger wieder an die Oberfläche. Gegen den Carpal-Tunnel hin wird der Nerv immer noch abgeflacht und entläßt nach proximal vom Reticulum flexorium einen R. palmaris, welcher die Faszie durchbohrt und die Haut über dem Thenar sowie in der radialen Hälfte der vola manus versorgt.
Der Verlauf des N. medianus durch den Carpal-Tunnel ist klinisch wegen der möglichen Raumbeengung wichtig.
Der abgeplattete Nerv ist im engen Kontakt mit der unter ihm liegenden Zeigefingersehne des M. flexor digitorum superficialis. Abgesehen von pathologischen Verengungen des Carpal-Tunnel-Kanales ändert sich seine Lichtung mit der Stellungsänderung der Hand.
Nach dem Verlassen des Carpal-Kanales verzweigt sich der N. medianus im Mittelfach der Palma manus.
Äste zum Thenar gehen am Ausgang des Carpal-Kanales nach radial ab. Sie versorgen den M. abductor pollicis brevis, den M. apponeus und den oberflächlichen Kopf des M. flexor pollicis brevis.
Bei etwa zwei Drittel der Fälle findet sich eine Anastomose zwischen dem R. profundus N.ulnaris und den Medianusästen im Thenabereich. Die Erfassung solcher Doppelinnervationen bei Nervenverletzungen vor Operationen ist besonders wichtig.
Als Endäste sind der N. digitalis palmares comunes I, II und III anzusehen. Sie teilen sich auf in die N.n. digitales palmares proprii, welche den Daumen, Zeigefinger, Mittelfinger und die radiale Hälfte des Ringfingers innervenieren.
Am 2. - 4. Finger versorgen sie nicht nur die Haut der

Beugeseite, sondern auch die Streckseite über der Mittel- und Endphalanx.

Innervation des N. medianus

Der N. medianus ist ein gemischter Nerv, der am Oberarm keine Äste abgibt. Seine Verzweigung beginnt in der Fossa cubiti und besteht aus:

a) Rami musculares
Sie entspringen im proximalen Drittel des Vorderarmes zum M. pronator teres, M. flexor carpi radialis, M. palmaris longus, M. flexor digitorium superficialis, radialen Teil des M. flexor digitorium profundes, M. flexor pollicis longus und M. pronator quadratus. Der zu den beiden letzten gehende, lange, dünne Ast N. interosseus anterior läuft mit der A. interossea anterior auf der palmaren Fläche der membrana interossea.

b) Ramus palmaris N. medianus
Er entspringt dem distalen Drittel des Vorderarmes. Proximal vom Handgelenk durchbohrt er die Faszie antebrachii und verzweigt sich in der Haut der Hohlhand.

c) Ramus communicans cum N. ulnaris
Ein ziemlich konstanter, wenn auch mäßig starker Verbindungsast beider Nerven in der Hohlhand.

d) Rami muskulares
Sie versorgen die Daumenballenmuskulatur mit Ausnahme des M. adductor pllicis und des tiefen Kopfes des M. flexor pollicis brevis.

e) Nn. digitalis palmares communes I-III
Sie versorgen die Palmarseite der Finger mit Ausnahme

des kleinen Fingers und der Ulnarseite des Ringfingers. Der N. digitales palmaris proprius I versorgt den Radialrand des Daumens. Erstere teilen sich in der Mitte der Hohlhand in je 2 Nn.digitales palmares proprii, nachdem sie kleine sensible Äste zur Haut der Palma manus abgegeben haben. Somit versorgt der N. medianus die Ränder der 3 1/2 Finger vom Daumen bis zur radialen Seite des 4. Fingers.
Die Innervationsgrenze geht durch die Längsachse des Ringfingers. Die Medianusinnervation greift am 2. - 4. Finger von der Volarseite auf die Dorsalseite der Mittel- und Endphalanxen über.

2.2.2. Nervus ulnaris

Der N. ulnaris entsteht aus dem medialen Bündel des Plexus brachialis als gemischter Nerv und erhält Fasern aus den Segmenten C_8 und Th_1 (Abb.5).
Es folgt in der Oberarmbeuge der A. axillares an ihrer medialen Fläche in den Sulcus bicipitalis medialis. Bereits in der Oberarmmitte tritt er durch das Septum intermusculare mediale auf die Streckseite über. Zwischen dem Septum und dem medialen Trizepskopf erreicht er den auf der Dorsalseite des Epicondylus medialis humeri gelegenen Sulcus ulnaris.
Der relativ exponierte Verlauf auf der Streckseite des Ellenbogengelenkes ist mit einer Reihe von Hilfs- und Führungseinrichtungen versehen. Eine sehnige Verstärkung der Faszie verbindet den Epicondylus medialis humeri mit dem Olecranon der Ulna. Der Bindegewebsstreifen kann mit der Trizepsfaszie in Beziehung stehen und so den N. ulnaris teilweise bedecken. Das Ligamentum epicondylo-olecranicum bildet oft ein tendinöses Dach, das manchmal auch durch Fasern des M. epicondylo-olecranicum ersetzt wird. Der N. ulnaris tritt unter dem Sehnenbogen auf den Vorderarm über. Hier kommt er, dem

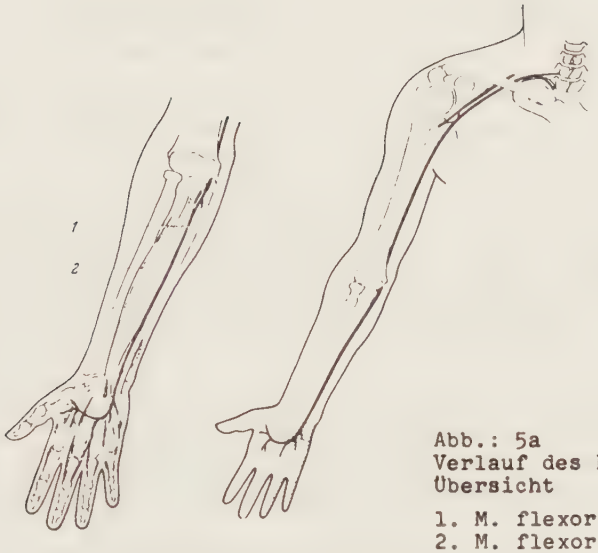


Abb.: 5a
Verlauf des N. ulnaris, Übersicht

1. M. flexor carpi ulnaris
2. M. flexor digitorum profundus III-IV

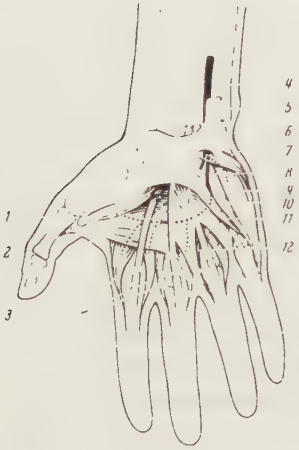


Abb.: 5b
N. ulnaris an der rechten Hand

1. M. flexor pollicis brevis Caput profundum
2. M. adductor pollicis
3. Mm.interossei palmares et dorsales I - IV
4. N. ulnaris
5. Sehne des M. flexor carpi ulnaris
6. Sehnen des M. flexor digitorum profundus
7. M. palmaris brevis
8. R. profundus M. ulnaris
9. M. abductor digiti minimi
10. M. flexor digiti minimi brevis
11. M. opponeus digiti minimi
12. Mm.lumbricales III -IV

Verlauf seines Leitmuskels, dem M.flexor carpi ulnaris folgend, auf die Beugeseite zurück. In seinem Verlauf im Unterarm gibt er Äste zu den von ihm versorgten Muskeln und auch kleinere Äste für die Hautsensibilität ab.
Der Stamm des N. ulnaris überquert das Handgelenk auf der Beugeseite. Hier muß der Nerv noch einmal eine anatomische Enge passieren, nämlich die Lage de Guyon. Als Strukturen, die diesen fibrosen Kanal bilden, sind die Sehne des M. flexor carpi ulnaris, das Ligamentum carpi volare und das Ligamentum tinohamatum zu nennen (36,31).
Beim Verlassen der Lage teilt sich der N. ulnaris in seine Endäste, den R. superficialis mit motorischen und hauptsächlich sensiblen Fasern für D4 und D5 und R. profundus mit motorischen Fasern für die Hohlhand.

Der Nerv ulnaris gibt in seinem Verlauf folgende Äste ab:

1.) Rami muskulares
sie ziehen zum M. flexor carpi ulnaris und zu den beiden ulnaren Köpfen des M. flexor digitorum profundus

2.) Ramus palmaris N. ulnaris
er zieht zur ulnaren Seite der Haut der Handwurzel

3.) Ramus dorsalis manus N. ulnaris
er zieht 5 cm proximal vom caput ulnae zwischen dem Knochen und der Sehne des M. flexor carpi ulnaris zur Dorsalseite der Hand, durchbohrt die Faszie, verzweigt sich im Bereich der ulnaren Seite des dorsum manus und endet mit den Nn.digitales dorsales auf der Dorsalseite der 2 1/2 ulnaren Finger. Er verbindet sich mit dem Ramus

communicans ulnaris rami superficialis N. radialis.

Die Innervationsgrenze zwischen Ulnaris und Radialisgebiet auf dem Handrücken verläuft durch den Mittelfinger.

4. Ramus palmaris manus

Der eigentliche Endast des N. ulnaris verläuft mit der A. ulnaris und ist vom M. palmaris brevis bedeckt. Durch diesen schickt er Äste zur Haut und spaltet sich in 2 Äste

- Ramus superficialis: Er zieht zu den M. digitalis palmaris proprius und läuft als N. digitalis palmaris communis unter Verbindung mit den N. medianus zum Interstitium zwischen den Köpfen des 4. und 5. Mittelhandknochens, wo er sich in die Nn. digitales palmares proprii für die beiden Fingerränder spaltet.

5. Ramus profundus

Er dringt mit dem ramus palmaris profundus der A. ulnaris zwischen den Muskeln des Kleinfingerballens in die Tiefe der Hohlhand um zusätzlich den M. adductor pollicis, sämtliche Mm. interossei, zwei bis drei ulnare Mm lumbricales und den tiefen Kopf des M. flexor pollicis brevis zu versorgen. Zumdem gibt er sensible Zweige zu den Fingergelenken ab.
Der N. ulnaris, der ungefähr 40% sensible Fasern enthält, begrenzt sich auf die sensible Versorgung von Kleinfinger und ulnarer Ringfingerhälfte. Die motorische Funktion umfaßt die Innervation sämtlicher palmar gelegener Mm. interossei, der Mm. lubricales 2-5 und der Daumenadduktoren.

3. DEGENERATION UND REGENERATION DER PERIPHEREN NERVEN

3.1. Einteilung der Nervenläsionen nach Art der Verletzung

Von zahlreichen Autoren sind Einteilungen der Nervenverletzungen angegeben worden. So unterschied Déjérine Nervendurchtrennungen von Druckschäden, degenerativen Syndromen und unvollständig dissoziierten Syndromen, Förster teilte die Verletzungen in Schädigungen durch direkte und indirekte Gewalt ein; der weitgehend pathophysiologischen Dreiteilung Seddons (46) stellte Sunderland (53) die mehr pathologisch-anatomisch orientierte Teilung in 5 Verletzungsgrade entgegen.
Röttgen unterscheidet ebenfalls 3 Gruppen.
Seddon unterscheidet die Neuropraxie, die Axonotmesis und die Neurotmesis als typische Schädigungsarten der peripheren Nerven.

Neuropraxie

Es ist eine gutartige und vollständig reversible Alteration der Nerven, wobei eine Schwellung des Nerven und eine Veränderung an den Markscheiden der großen Fasern vorliegt. Dies erfolgt meist durch Druck oder Quetschung, ein chirurgisches Vorgehen ist unnötig.

Axonotmesis

Es ist eine Unterbrechung der Kontinuität der Nervenfasern bei erhaltener Hüllstruktur. Folge ist die Wallersche Degeneration der distalen Faseranteile. Da die Endoneuralrohre erhalten sind, finden die aussprossenden Fasern intakte Leitbahnen vor. In der Regel kann eine vollständige Restituion der Funktion erreicht werden.

Neurotmesis:
Hier ist sowohl die Kontinuität der Nervenfasern als auch die der Hülle unterbrochen. Die neu aussprossenden Fasern werden irregulär in diejenigen Bänder einwachsen, auf die sie gerade treffen. Es erfolgt eine heteromorphe Neurotisation des distalen Stumpfes. Eine vollständige Regeneration ist nicht zu erwarten.

3.2. Histopathologische Erscheinungen nach Nervendurchtrennung

Im ZNS können Ganglienzellen, die im Unterschied zu denen des vegetativen Nervensystems nach der Entwicklungsphase ihre Teilungsfähigkeit verloren haben, nach Verlust nicht mehr regenerieren. Die Defekte werden durch das teilungsbereite Gliagewebe ersetzt. Bei Verletzungen peripherer Nerven ist zu berücksichtigen, daß z.B. bei den motorischen Fasern der Zellkern der motorischen Einheit im Vorderhorn des Rückenmarks lokalisiert ist. Die zugehörige Faser stellt folglich nur den außerordentlich lang ausgezogenen Cytoplasmaanteil dar. Die Faserdurchtrennung ist demnach eine Abtrennung des peripheren Cytoplasmaanteils (5). Durchtrennt man den Nerven, so entstehen folglich zwei ungleiche Abschnitte, der proximale Abschnitt mit dem Perikaryon, dem Zellkörper und dem Kern und der distale Abschnitt, der je nach Art und Entfernung der Läsion vom Perykaryon zu verschiedenen Zeitpunkten der sekundären Wallerschen Degeneration verfällt.
Nach Durchtrennung des Nerven weichen die proximalen und distalen Enden durch Retraktion mehr oder weniger auseinander; die entstehende Lücke zwischen beiden Nervenstümpfen wird durch die Extravasation geformter und ungeformter Blutbestandteile, Gewebstrümmer, Fremdmaterial und Knochenfragmente ausgefüllt (19). In dieser Nervenlücke spielt sich

nebeneinander der Prozeß der Degeneration, der Regeneration und der Narbenbildung ab. Die Wiederherstellung der Kontinuität des Nerven hängt von einer Reihe von Faktoren ab, zu denen nicht nur die Ausbildung eines Granulationsgewebes, sondern auch das Auswachsen der Zellen von beiden durchschnittenen Nervenenden aus von entscheidender Bedeutung ist (Abb. 6) (2).

Die aussprossenden Schwanschen Zellen bereiten den auswachsenden Achsenzylindern den Weg. Nach Untersuchungen kann angenommen werden, daß die Nahtstelle in etwa 20 Tagen überbrückt wird (14,34,55). Von da ab scheinen die Achsenzylinder in einem Tagesdurchschnitt 1 - 2 mm zu wachsen. Bis jetzt hat sich das von Hoffman und Tinel beschriebene Degenerationszeichen bewährt. Es bleibt so lange anscheinend positiv, bis die Markscheidenbildung abgeschlossen ist, da es weder am normalen noch am völlig regenerierten Nerven nachweisbar ist. Die spontane Vereinigung der beiden Stümpfe durch ein Narbengewebe ist ein relativ häufiger Befund; dagegen ist eine erfolgreiche Regeneration mit klinischer Restitution die Ausnahme.
Unter den Veränderungen an den Nervenfasern nach Nervenläsionen stellt die primäre Degeneration eine noch relativ unklare Reaktionsform dar. Man findet sie als erste Veränderung im geschädigten Bereich, wobei eine Auftreibung "neurolytische Schwellung" der Achsenzylinder im Vordergrund steht.
Die einzelnen Schritte der sekundären Degeneration wurden von Waller (58,59) untersucht. Man weiß heute, daß die Wallersche Degeneration nach jeder umschriebenen Kontinuitätsunterbrechung eines Achsenzylinders auftritt und bei Schädigung einer einzelnen Faser in der gleichen Weise abläuft, wie nach totaler Durchtrennung.

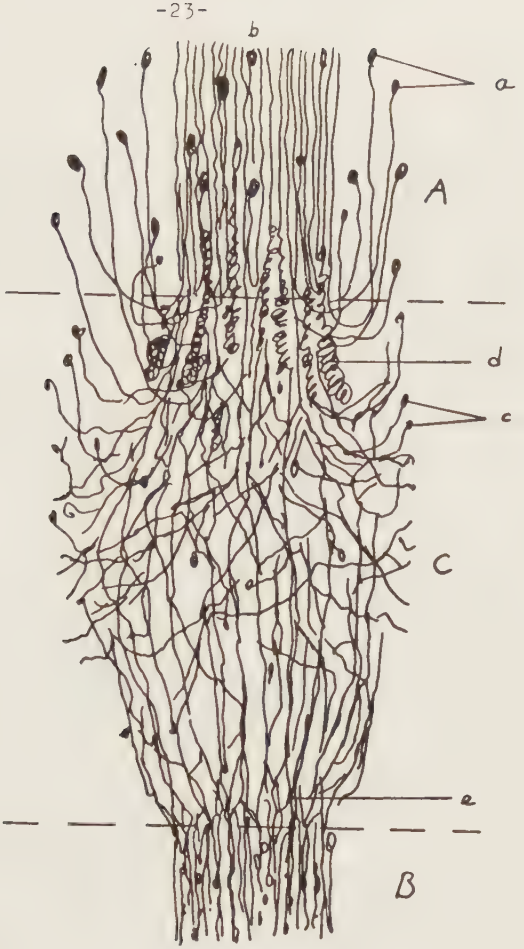


Abb.: 6
Schema der Nervenregeneration nach Durchtrennung
A proximaler Stumpf
B distaler Stumpf
C Narbe mit Narbenplexus

a abweichende, rückläufige Fasern
b rückläufige Axone
c Wachstumskolben in der Narbe
d Peroncitas Spiralen
3 Eintrittszone in das distale Segment

In der 1. Woche nach einer Nevenverletzung befinden sich die Zellen in einer Überlebensphase. Nach einigen Tagen wird mit der erhöhten Produktion von Proteinen begonnen (6). Aufgrund der Regenerationsgeschwindigkeit hat man geschätzt, daß ein großes neuronales Perikaryon ein Drittel seines Proteingehaltes jeden Tag erneuert.
Wie viele der synthetisierten Proteine für den Verbrauch an Ort und Stelle oder für spezifische neuronale Funktionen und wie viele für den Transport über das Axon bestimmt sind, ist noch nicht genügend geklärt (3).

Proximaler Abschnitt

48 Stunden nach der Nervenläsion beginnt die Proliferation der Schwanschen Zellen. Die Proliferationstendenz der Schwanschen Zellen nimmt bis zum 25. Tag zu und führt zur Ausbildung eines idealen Leitgewebes für die Achsenzylinder. Nach 96 Stunden beginnen die Achsenzylinder auszuwachsen, was für die Restitution der Funktion von großer Bedeutung ist. Es bilden sich Wachstumskegel, aus denen sich Pseudopodien mit amöboiden Bewegungen vorstehen. Durch diese Pseudopodien und durch kollaterale Abzweigungen bilden sich aus jedem proximalen Achsenzylinder mehrere Axoplasmastränge, die dann als neue Fasern in den Verletzungsbereich einwachsen. Je ungeordneter das Gewebe ist, desto häufiger kommt es zu Abweichungen der Fasern (Abb.7).
Nach Amputationen z.B. zeigen die durchtrennten Nervenstämme nicht selten als Regenerationsversuch am Stumpfende ein Wachstum von Achsenzylindern und Schwanschen Zellen, die zu einer knäuelförmigen Auftreibung und Verdickung führen, den Amputations- oder Narbenneurom (7).
Die Achsenzylinder, die auf geordnete Schwansche Zellformationen treffen, werden ihr Ziel erreichen. Sie werden in die distalen Endoneuralrohre eindringen und hier zwischen

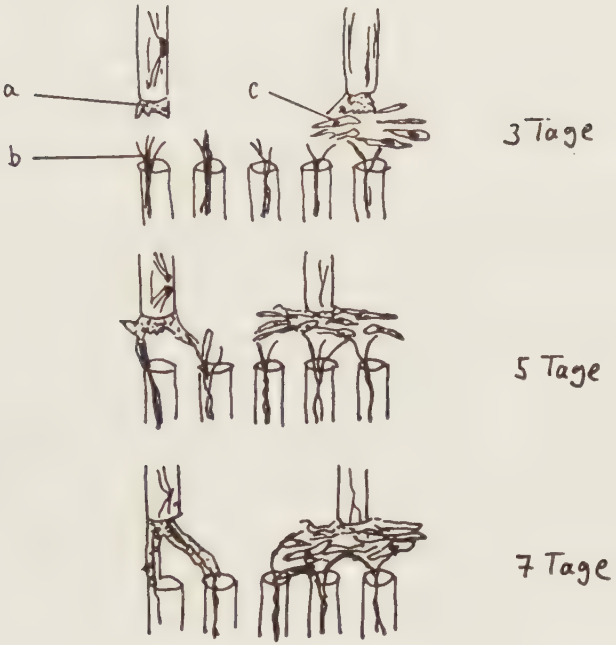


Abb.: 7

Histologische Veränderungen am durchtrennten Nerv
a Axoplasma
b Schwannsche Zellen
c Fibroblasten

und in den Schwanschen Zellen in die Peripherie weiterwachsen. Die erfolgreichen Fasern verzweigen sich weiter, so daß im distalen Stumpf jeweils mehrere, allerdings sehr feine Axone in einem Endoneuralrohr liegen. Dieser Vorgang wird als Hyperneurotisation bezeichnet.

Distaler Abschnitt

In der ersten Woche beobachtet man Umorientierungen am Axon und an der Markscheide, das Myelin zieht sich zu einem Fettballen zusammen. In der 2. Woche beginnt eine große Zellaktivität; die Schwanschen Zellen proliferieren und Makrophagen beginnen degenerierte Zellen von Axonen und Markscheiden abzuräumen. Nach 5 - 8 Wochen werden lange Rohre gebildet, sogenannte Bänder von Bünger; sie stellen Endoneuralrohre, umgeben von Schwanschen Zellen dar. In diesen Rohren finden folglich die aussprossenden Achsenzylinder des proximalen Abschnittes ideale Leitbahnen für die Restitution.

4. OPERATIVE METHODEN DER NERVENNAHT BEI DURCHTRENNTEN PERIPHEREN NERVEN

Die epineurale Nervennaht, erstmals von Hueter 1873 beschrieben, wird heute als klassische Naht bezeichnet (26). Dabei werden die beiden Enden des durchtrennten Nerven durch eine epineurale Naht zusammengefügt. Das Ziel dieser sehr einfachen Naht ist das feste Zusammenfügen der beiden Enden. Die Resultate dieser klassischen Nervennaht schienen zu Beginn recht hoffnungsvoll zu sein (4).
Eine Garantie für die Wiederherstellung der intraneuralen Topographie ist bei dieser einfachen Naht jedoch nicht gegeben; es ist nahezu unmöglich eine selektive Annäherung der Nervenenden zu erreichen.
Young und Medouen (1940) führten die Klebetechnik ein. Sie versuchten mit konzentriertem Fibrinogen die beiden Nervenenden zusammenzukleben.
Matros und Kuderna (1976) erhöhten die Klebekraft des Fibrinogens durch Zusätze wie Thrombin oder Caliumchlorid und versuchten damit günstigere Resultate zu erreichen (35).
Da die vermehrte Bindegewebsbildung an der Nahtstelle ein großes Hindernis für die Regeneration darstellt, versuchte man diese Gewebsreaktion durch Einscheidung der Nahtstelle zu verhindern; Versuche mit Milipore waren nicht sehr vielversprechend. Weitere Versuche wurden mit Kollagen und Silarfolien sowie Millipore-Tape durchgeführt.
Erst die Einführung des Mikroskopes durch Smith 1964 als Hilfsmittel für die operative Nervennaht brachte wesentliche Fortschritte (33,45,49,57).
Im gleichen Jahr führte Millesi die interfascikuläre Nerventransplantation an der Station für plastische und

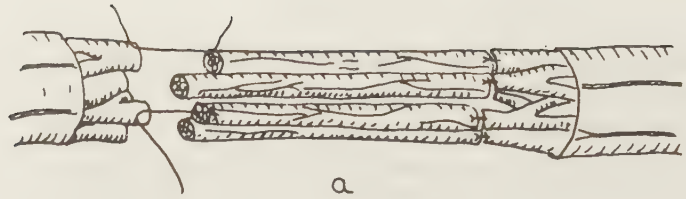
wiederherstellende Chirurgie in Wien mit Hilfe des Mikroskopes ein. Er verwendete dabei autologes Nervenmaterial. Homologe lyophilisierte Nerveninterponate (15,16,17,60) die zu Beginn erfolgversprechend waren, ergaben bei tierexperimentellen Versuchen, daß die überwiegende Mehrzahl der Versuchsergebnisse weit hinter denen nach autologen Transplantationen zurücklagen. Heterologe Nerventransplantate, ebenso wie die Methode der Lappenplastik waren wenig erfolgreich. Millesi sah als Grundvoraussetzung für ein gutes Gelingen der Nervennaht eine absolute spannungsfreie Adaptation der Nervenenden an (29). Er nannte folgende Gründe für eine Nerventransplantation:

1.) Zur Überbrückung von Nervendefekten durch Substanzverlust des Nerven, wenn eine andere Möglichkeit zur Überwindung des Defektes, wie z.B. die Volarverlagerung des N. ulnaris in Höhe des Ellenbogengelenkes nicht besteht.
2.) Wenn bei der sekundären Versorgung die Stümpfe durch Retraktion weit auseinandergewichen sind.
3.) Wenn die Nervenstümpfe ausgiebig angefrischt werden müssen.

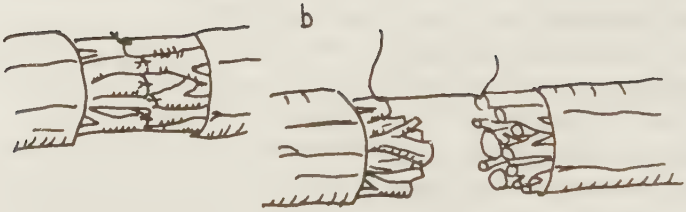
Zur autologen Nerventransplantation können theoretisch dicke Nervenstämme gemischter Nerven oder nach dem Vorschlag von Bielschowsky und Unger dünne Hautnerven herangezogen werden. Ebenso ist die gestielte Nerventransplantation nach Stange möglich. In der Praxis stehen jedoch dicke Nerventransplantate nur bei Patienten mit einem Amputationsstumpf zur Verfügung, da sonst dicke Nerven wegen des zu erwartenden Funktionsausfalles als Spendernerven nicht in Frage kommen.

Nerventransplantate haben jedoch den Nachteil, daß sie nach der Verpflanzung erst Anschluß an das Gefäßsystem der Empfängerstelle suchen müssen. Je dicker das Transplantat ist, umso länger braucht es jedoch, bis die zentralen Anteile an den Kreislauf angeschlossen sind. Unter solchen Umständen kann es zu einer neuromatösen Neurotisation kommen. Bei dünnen Hautnerven ist diese Gefahr nicht so groß. Histologische Untersuchungen an Mensch und Tier haben gezeigt, daß bei Verwendung dünner Nerventransplantate alle Zellen des Transplantates die Verpflanzung überleben.

Seit 1970 werden in der Handchirurgischen Klinik München interfaszikuläre Nervennähte und Nerventransplantationen nach der Methode von Millesi durchgeführt.
Bei der interfaszikulären Nervennaht (Abb. 8) wird zuerst das Epineurium der Nervenstümpfe reseziert,um die Hauptquelle der Bindegewebsproliferation auszuschalten. Anschließend wird der Nervenquerschnitt durch stumpfe Präparation in mehrere Faszikel aufgespalten. Große Faszikel bzw. Gruppen kleinerer Faszikel werden dann direkt durch eine perineurale Nervennaht miteinander verbunden. Bei der interfaszikulären Nerventransplantation - in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich vom N. suralis stammend - werden die Transplantate analog mit großen Faszikeln oder Gruppen kleinerer Faszikel durch eine perineurale Naht verbunden.
Eine Identifizierung der einzelnen Faszikel in sensible und motorische Fasern durch direkte elektrische Stimulation erfolgt nicht (13).
Zur Naht wird 10 x 0 oder 11 x 0 atraumatisches gewebsneutrales Nahtmaterial verwendet. Da die Operationszeiten fast immer unter 2 Stunen liegen, wird in pneumatischer Blutleere am Oberarm und in Vollnarkose operiert.



a



b

Abb.: 8

a Interfaszikuläres Transplantat
b Interfaszikuläre Naht

5. UNTERSUCHUNGSMEHTODEN

5.1. Krankengut

Zur Untersuchung wurden Fälle aus der Handchirurgischen Abteilung der Chirurgischen Universitätsklinik München herangezogen. Es wurde der Zeitraum von 1974 - 1980 erfaßt, so daß die Operationen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zwischen 1 und 7 Jahren zurücklagen. Insgesamt wurden 126 Patienten schriftlich zu einer Nachuntersuchung einbestellt.
Trotz erneuter schriftlicher Aufforderungen gaben viele Patienten keine Antwort, einige waren verzogen, verstorben oder lehnten eine Nachuntersuchung ab.
Von den 126 Patienten konnten schließlich 63 Patienten mit insgesamt 75 Nervenverletzungen nachuntersucht werden.

5.2. Spezielle Unterlagen - Fragebögen

Alle Patienten wurden nach dem gleichen speziellen Fragebogenmuster nachuntersucht. Er beinhaltet allgemeine Fragen zum Wohlbefinden sowie auch gezielte sensible und motorische Untersuchungsmethoden.

Gekürzter Fragebogen:

Name... Vorname..... geb....

M..... W..... Beruf..... OP-Datum ...

Zeit zwischen Verletzung und Operation .....
Nachuntersuchung zur operativen Versorgung des Nerv ....
Rechtshänder .... Linkshänder ....
Ursache der Verletzung .... Bereich ....
Erstversorgung ....

Postoperativer Verlauf ...
Transplantation ... Stelle der Entnahme ....
Nachbehandlung ...
Krankengymnastik ... wie lange ...
Arbeitsunfähigkeit ...
Subjektive Beschwerden ...

Muskelkraftvergleich (Kpa)	links	rechts

Muskelkraftvergleich (Kpa)	

Umfang (cm)

Unterarm	

Handwurzel	

Mittelhand	

Subjektives Empfinden des Patienten ...
Schmerzen, Paraesthesien, Kribbeln, Ameisenlaufen, Taubheitsgefühl, Elektrisieren, Kälteempfindlichkeit, Brennen, Behinderung im Alltag.

Äußere Merkmale im Versorgungsgebiet des verletzten Nerven.
Farbe des Fingers.
Zustand der Haut: Glatt, atrophisch, trocken, unauffällig, gut durchfeuchtet.
Papillarkörper: Gut sichtbar, abgeschwächt, geschwunden.

Hauttemperatur: Unverändert,erhöht, erniedrigt.
Nagelbeschaffenheit: Unauffällig, wachstumsgestört.
Sensibilitätsprüfung
Neuromzeichen ....
Hoffmann-Tinel-Zeichen ...
Schmerzsensibilität: Hypo- Hypersensibilität
Fähigkeit, Berührungsreize zu lokalisieren ...
Spitz-Stumpfunterscheidung ...
Differenzierung von warm - kalt ...
rauh - glatt ...

Zwei-Punkte-Diskriminierung (mm) ...

Auflesetest: Flache Gegenstände ...
Spitze Gegenstände ...
Größere Gegenstände ...

N. Medianus-Untersuchung

Zusätzliche Sensibilität: Rundgriff, Spitzgriff, Schwurhand.

Motorik: Flaschenzeichen ...
Untersuchung der Pronation des Vorderarmes
Funktionsprüfung des M. flexor digitorum superficialis
Prüfung des M. flexor pollicis longus
Prüfung des M. abductor pollicis brevis
Daumentest

EMG: Denervierung ...
Reinnervation ...
Reizstrom über N. medianus
distale Latenzzeit für den N. medianus

N. Ulnaris - Untersuchung

Zusätzliche Sensibilität: Mit Kleinfinger umblättern
sensible Ausfälle in der Mitte
des Ringfingers.

Motorik: Krallenhand
Grübchenförmige Einziehung der Haut
am Hypothenar beim Abspreizen von D_5
Abspreizen des Kleinfingers
Froment-Zeichen
Funktionsprüfung der Mm interossei dorsales
Funktionsprüfung der Mm flexor digitorum profundum
Funktionsprüfung des M. flexor carpi ulnares

EMG: Denervierung ...
Reinnervation ...
Reizstrom über dem N. ulnaris
distale Latenzzeit für den N. ulnaris

5.3. Prüfung der Motorik

Die klinische Prüfung auf die Motorik gibt oft schon einen Hinweis auf den Nervenschaden, wenn man sich vergegenwärtigt, zu welchen Muskeln Nervenäste distal der Verletzung ausgehen.
Bei der Durchführung der Muskeltests werden einige Handgriffe durchgeführt, die anschließend erläutert werden. Diese Prüfungen der Muskelgruppen müssen immer beidseitig zum Vergleich auf der gesunden und auf der kranken Seite durchgeführt werden. Es muß darauf geachtet werden, daß der Patient keine kompensatorische Bewegungen ausführen kann. Bei den folgenden Tests muß die Hand gestreckt,darf aber nicht überstreckt gehalten werden, um eine Fingerabduktion durch die Strecker und eine Adduktion durch die Beuger auszuschalten.

Untersuchung für den N. ulnaris (Abb. 9).

a) Froment Zeichen
Bei Ulnarisparese äußert sich der Ausfall des M. adductor pollicis in einer Schwäche beim Griff zwischen Daumen und Zeigefingerstrahl. Als Ersatz wird unbewußt der M. flexor pollicis longus (N. medianus) eingesetzt und deshalb das Daumenglied abnorm stark gebeugt.

b) Nasenstüberbewegung
Beim Ausfall der Mm interossei (Strecken im Interphalangialgelenk) ist im Rahmen einer Ulnarisparese die Nasenstüberbewegung geschwächt (Signe de la Chiquenonde). Der Untersucher spürt den schwächeren Anprall an seiner Handfläche.

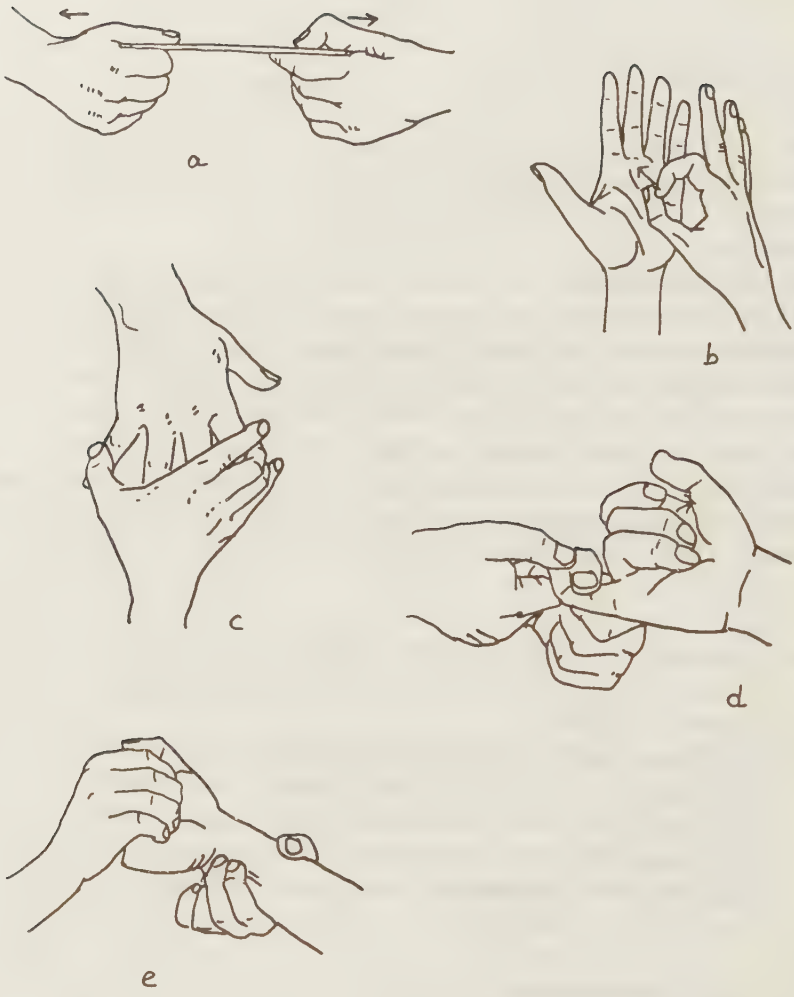


Abb.: 9
Untersuchung für den N. ulnaris
a Froment Zeichen
b Nasenstüberbewegung
c Funktionsprüfung der Mm interossei dorsales
d Funktionsprüfung des M. flexor digitorum profundus
e Funktionsprüfung des M. flexor carpi ulnaris

c) Funktionsprüfung der Mm interossei dorsales
Die Prüfung dieser vom N. ulnaris versorgten Muskeln geschieht, indem man den Patienten seine Finger gegen Widerstand spreizen läßt.

d) Funktionsprüfung des M. flexor digitorum profundus
Bei der Untersuchung des M. flexor digitorum profundus läßt man den Patienten seinen kleinen Finger gegen Widerstand beugen.

e) Funktionsprüfung des M. flexor carpi ulnaris
Die Prüfung dieser Muskeln geschieht dadurch, daß der Patient versucht, seine Finger gegen Widerstand zu beugen.

Untersuchungen für den N. medianus (Abb.10)

a) Untersuchung der Pronation des Vorderarmes.
Bei gebeugten Ellenbogen wird der M. pronator teres zwecks Untersuchung der Pronation des Vorderarmes getestet, indem der Patient versucht, den Unterarm nach innen zu rotieren.

b) Funktionsprüfung des M. flexor digitorum superficialis.
Bei fixiertem Handgelenk versucht der Patient seine Finger gegen den Widerstand des Untersuchers zu beugen. Der M. flexor digitorum superficialis beugt die Finger im ersten Interphalangealgelenk.

c) Funktionsprüfung des M. flexor pollicis longus
Der Patient versucht, das Daumenglied gegen Widerstand des Untersuchers zu beugen

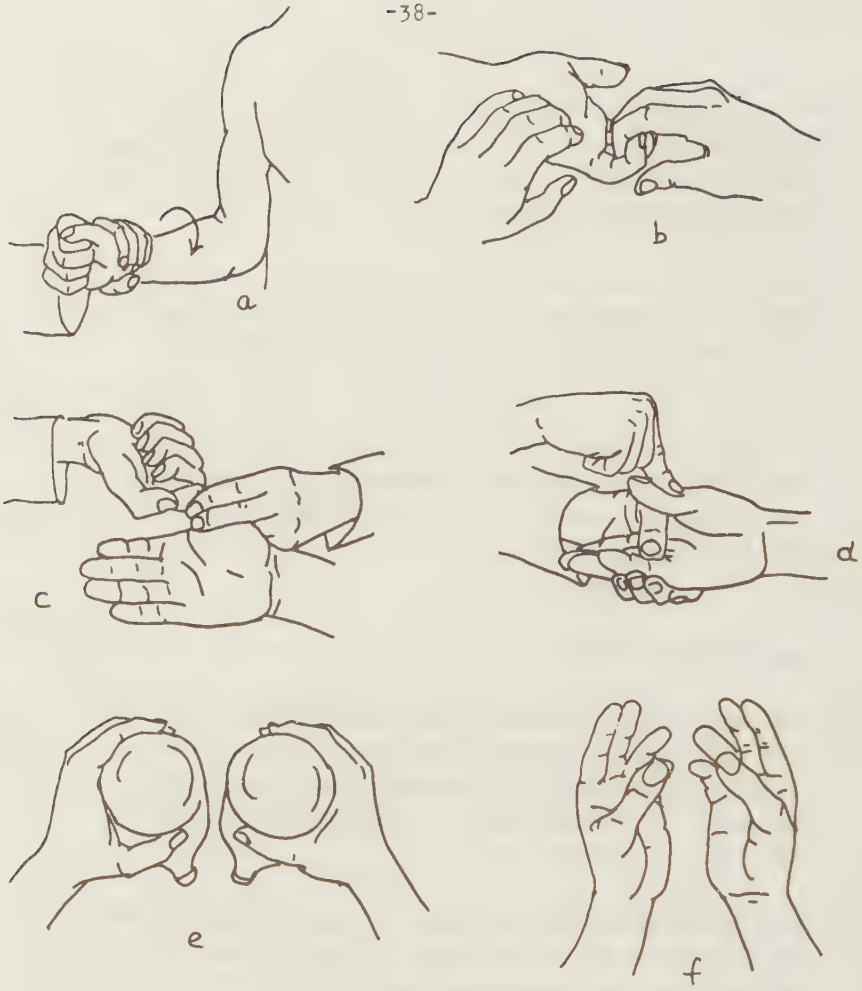


Abb.: 10
Untersuchung für den N. medianus
a Untersuchung der Pronation des Vorderarmes
b Funktionsprüfung des M. flexor digitorum superficiales
c Funktionsprüfung des M. flexor pollicis longus
d Funktionsprüfung des M. abductor pollicis brevis
e Flaschenzeichen nach Lüthy
f Daumentest

d) Funktionsprüfung des M. abductor pollicis brevis.
Die Mittelhand wird fixiert und der Daumen senkrecht zur Handebene abduziert.

e) Flaschenzeichen nach Lüthy.
Die Schwäche der Daumenabduktion äußert sich u.a. darin, daß beim Ergreifen einer Flasche die Hautfalte zwischen Daumen und Zeigefinger der Rundung der Flasche nicht anliegt.

f) Daumentest.
Bei diesem Test versucht der Patient, den Daumen dem Kleinfinger zu opponieren. Durch den Ausfall des M. aponens pollicis nähert sich nicht nur der Daumen ungenügend dem Kleinfinger, sondern es fällt auch die pronatorische Kreiselung des Daumens um seine Längsachse teilweise aus.

5.4. Prüfung der Sensibilität

Die entsprechenden Hautbezirke wurden auf unterschiedliche Reize hin untersucht. Zuerst wurde die Frage der Berührungsempfindlichkeit getestet, ebenso wie die Fähigkeit Berührungsreize zu lokalisieren (vgl.Fragebogen).
Die Empfindlichkeit auf Wärme und Kälte wurde mittels eines Reagenzglases,gefüllt jeweils mit warmen und kalten Wasser, geprüft. Zur Testung der Unterscheidung von spitzer und stumpfer Berührung diente eine Stecknadel mit einem runden Kopf. Für die Differenzierung von rauh-glatt wurde eine Plastikfolie und ein rauher Stoff verwendet.
Um die Beweglichkeit der einzelnen Finger zu untersuchen, mußten die Patienten jeweils einen flachen Gegenstand (eine kleine Metallscheibe), einen spitzen Gegenstand (einen Pinsel) und einen größeren Gegenstand (kleiner Ball) aufheben. Die Zwei-Punkte-Diskrimenierung nach Weber wurde mit einem speziellen Zirkel durchgeführt (Abb.11).
Es wurde gemessen, in welchem Minimalabstand 2 Spitzberührungen noch getrennt wahrgenommen werden können.

Das Hoffmann-Tinelsche Zeichen wurde geprüft, indem durch Beklopfen der Verletzungsstelle versucht wurde, distal vom Nerven Paraesthesien auszulösen. Der distale Punkt, von welchem aus durch Beklopfen noch Paraesthesien im peripheren Ausbreitungsgebiet des Nerven ausgelöst werden können, wird als der Ort betrachtet, bis zu welchem die regenerierenden Axome bereits ausgewachsen sind.

5.5. Beurteilung der Sensibilität und der Motorik

Bis jetzt gibt es noch keine vollständig zufriedenstellende Methode um das Ergebnis der Nervennähte zu vergleichen. Am besten hat sich bis jetzt das System bewährt, das in dem Bericht des Nerve Committee of the British Medical Research Council 1954 beschrieben wurde. Zur Beurteilung

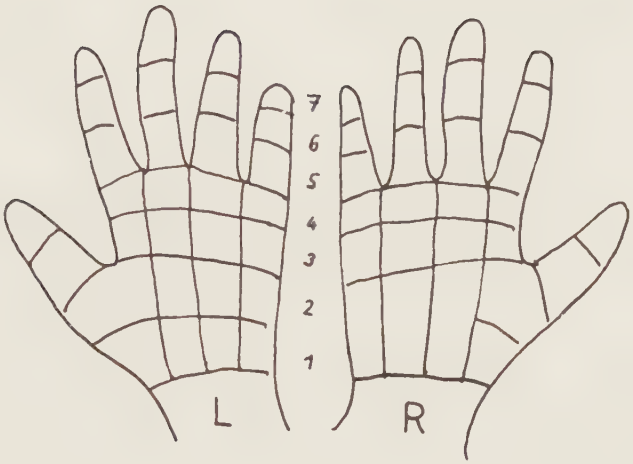


Abb.: 11
Zwei - Punkte - Diskriminierung nach Weber - Handinnenfläche

Normalwerte für die Zeitschwelle nach Zonen 1-7 aufgeteilt:
1: 7 - 10 mm
2: 7 - 10 mm
3: 6 - 9 mm
4: 5 - 8 mm
5: 4 - 7 mm
6: 3 - 6 mm
7: 3 - 5 mm

der Funktion der vom N. medianus und vom N. ulnaris innervierten Muskeln wurden besondere Schemata entwickelt. Diese Einteilung wurde beispielsweise von Nicholson und Seddon und von Sakellarides verwendet.

Für den N. medianus bedeutet:

M_0: Keine Kontraktion.
M_1: Wahrnehmbare Kontraktion in den Unterarmmuskeln.
M_{1+}: Kontraktion in den Unterarmmuskeln gegen die Schwerkraft bei Lähmung aller kleinen Handmuskeln.
M_2: Zusätzliche tastbare Kontraktion aller Thenarmuskeln.
M_3: Unterarm- und Thenarmuskeln kontrahieren gegen Widerstand.
M_4: Alle Muskeln sind fähig, sich gegen starken Widerstand zu kontrahieren mit gewisser, unabhängiger Aktion.
M_5: Volle Wiederherstellung aller Muskeln.

Für den N. ulnaris bedeutet:

M_0: Keine Kontraktion.
M_1: Wahrnehmbare Kontraktion in den Unterarmmuskeln.
M_{1+}: Kontraktion der Unterarmmuskeln gegen die Schwerkraft bei Lähmung aller kleiner Handmuskeln.
M_2: Zusätzliche tastbare Kontraktion der Hypothenarmuskeln, aber nicht der Interossei.
M_{2+}: Unterarm- und Handmuskeln aktiv, I. dorsaler Interosseus aber nicht gegen Widerstand.
M_3: Unterarm- und alle ulnarisinnervierten Muskeln kontrahieren gegen Widerstand.
M_4: Alle Muskeln sind fähig, sich gegen starken Widerstand zu kontrahieren,mit gewisser unabhängiger Funktion

M_5: Volle Wiederherstellung aller Muskeln.

Auch zur Beurteilung der Sensibilität wurden Schemata ausgearbeitet. Nicholson und Seddon (46) benutzten folgende Einteilung:

S_0: Fehlen jeglicher Sensibilität im autonomen Gebiet.

S_1: Wiedererlangen der tiefen Schmerzsensibilität im autonomen Gebiet.

S_2: Rückkehr gewisser oberflächlicher Schmerz und Berührungsempfindung im autonomen Gebiet.

S_{2+}: Rückkehr von Berührungs- und Schmerzempfindung im autonomen Gebiet mit bleibenden Parästhesien.

S_{3+}: Wie bei Grad 3, aber mit guter Lokalisation der Reize und beginnender Zweipunkte-Unterscheidung.

S_4: Vollständige Rückbildung der Sensibilität (2 PD $\leq$ 5 mm).

5.6. Neurologische Untersuchungsmethoden

Durch den Nachweis einer umschriebenen Verzögerung der motorischen oder sensiblen Erregungsleitung eines Nerven kann man eine Nervenverletzung elektroneurologisch objektivieren und topographisch feststellen.
Das Elektromyogramm erfaßt die summierten muskulären Membranpotentiale motorischer Einheiten unter Ruhebedingungen und aktiver Innervationen (12,21).
Bei größeren Nervenschäden wird diese Untersuchung gezielt eingesetzt zum Nachweis von pathologischer Spontanaktivität in Form von Fibrilationspotentialen und positiven scharfen Wellen in Muskeln, die distal der Nervenirritationsstelle versorgt werden.
Unter physiologischen Bedingungen zeigt der Muskel keine Spontanaktivität (54). Bei aktiver Innervation erlaubt die Beurteilung der Form, Phase, Dauer und Amplitude der Einzelpotentiale unter Berücksichtigung des Maximalinnervationsmusters eine gute Aussage über die Intensität und Alter des Nervenschadens (52).
Mit Hilfe der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit läßt sich zudem eine differenzierte Aussage über die Leitfunktion des gesamten Nerven oder einzelner Teilabschnitte treffen. Eine Herabsetzung der Nervenleitgeschwindigkeit beruht auf einer Schädigung der Markscheide, die für die Leitfähigkeit des Nerven verantwortlich ist.
Durch Stimulation des Nerven an den verschiedenen Stellen kann aus der Distanz zwischen den Stimulationspunkten und der Differenz der Latenzzeiten bis zum Auftreten des Muskel- bzw. Nervenaktionspotentials,die meist mittels Oberflächenelektrode abgeleitet werden, die Leitungsgeschwindigkeit in m/sec berechnet werden (Abb.12). Bei Nervenschäden findet

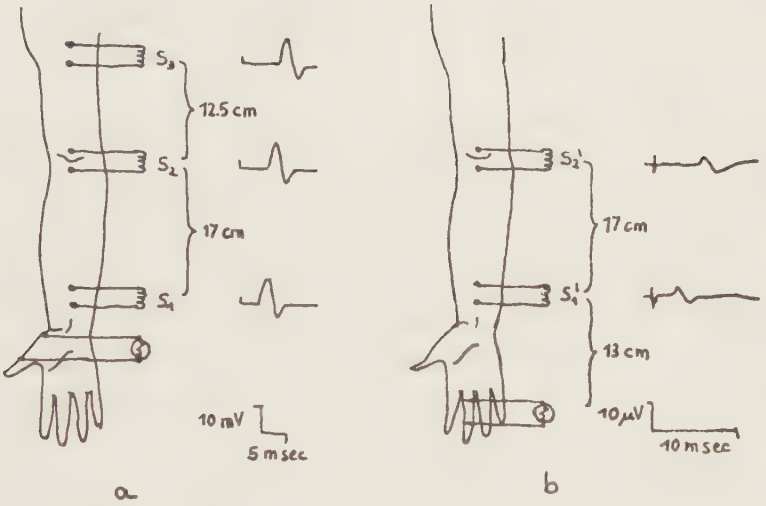


Abb.: 12

Messung der motorischen
(a) und der sensiblen Erregungsleitungsgeschwindigkeiten
im Bereich des N. medianus (b)

sich häufig eine Verlangsamung der sensiblen und motorischen Nervenleitgeschwindigkeit. Das Nervenaktionspotential ist erniedrigt oder fehlt gänzlich, die motorische Latenzzeit ist verlangsamt.
Diese Aussagen sind jedoch nach Millesi (28) zu pessimistisch. Der Patient weist sehr oft eine gute motorische Funktion auf, obwohl die Reizstromdiagnose immer noch pathologische Befunde zeigt.
Im Gegensatz dazu liefert die Elektromyographie vielfach zu optimistische Befunde. Durch diese Untersuchung kann man den Beginn und das Fortschreiten der Regeneration sehr gut verfolgen. In der bisherigen Form liefert die Elektromyographie nach Millesi (25) nur mehr oder weniger mikroskopische Einblicke,ohne daß eine Aussage über den wahren funktionellen Wert für den Patienten möglich wäre.
Die verläßlichsten Ergebnisse liefert schließlich die genaue klinische Untersuchung. Bei der vorliegenden Nachuntersuchung wurden die neurologischen Ergebnisse - soweit sie vorhanden waren - mitberücksichtigt und sicherten so teilweise die klinischen Untersuchungsresultate.

6. NACHUNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

6.1. Verteilung auf Geschlecht, Beruf und Verletzungsursache

Aus der Untersuchung an 75 verletzten peripheren Nerven ergab sich eine Verteilung auf 80% Männer und 20% Frauen (Abb.15). Auf die einzelnen Nervennähte aufgeteilt, resultierten kleinere Abweichungen; bei den Nerventransplantationen beträgt die Verteilung beim N. ulnaris 80% Männer und 20 % Frauen, beim N. medianus 87,5% Männer und 12.5% Frauen und bei Doppelverletzungen N. medianus - N. ulnaris 75% Männer und 25% Frauen (Abb.13).

Für einfache Nervennähte galt eine ähnliche Verteilung. N. medianus: 89 % Männer und 11 % Frauen; N. ulnaris: 83 % Männer und 17 % Frauen; Doppelverletzung N. ulnaris - N. medianus: 100% und Digitalnerven: 74% Männer und 26 % Frauen.
In allen Fällen waren die Männer zu einem wesentlich größeren Anteil betroffen.
Die Verteilung auf den rechten bzw. linken Arm fiel statistisch verteilt aus. Bei 47% der Patienten lag ein Trauma der rechten Hand, bei 53% ein Trauma der linken Hand vor.
Die Berufsanamnese ergab, daß bevorzugt Berufsgruppen betroffen waren, die auf den ständigen Gebrauch ihrer Hände angewiesen sind.
Siehe folgende Tabelle:

Beruf	Patienten %
Selbständige	10%
Angestellte	28%
Arbeiter	27%
Handwerker	12%
Hausfrauen	8%
Schüler	8%
Studenten	6%

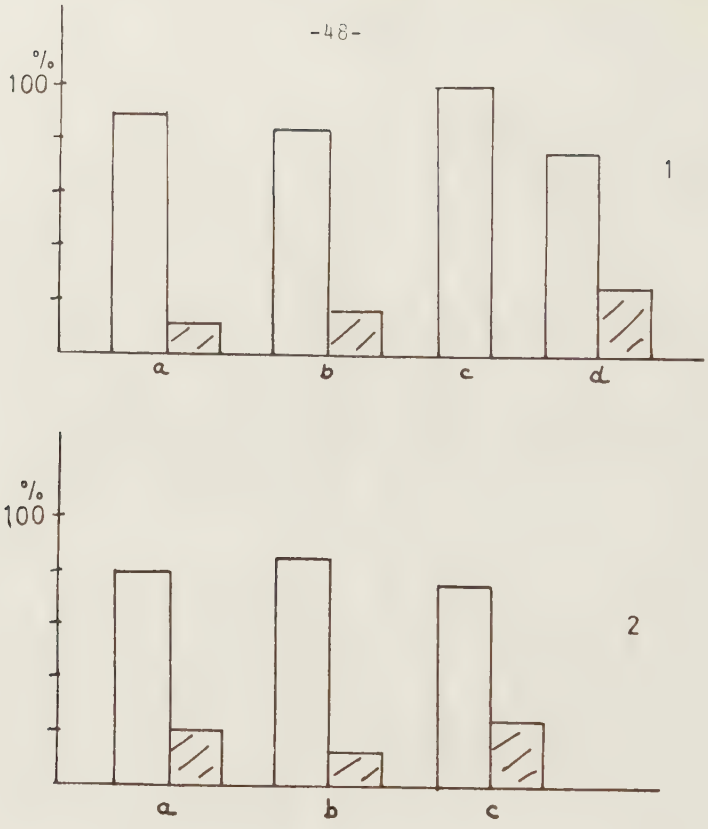


Abb.: 13
Geschlechtsverteilung bei
1. Nervennähten:
   a N. medianus
   b N. ulnaris
   c N. ulnaris und N. medianus
   d Digitalnerven
2. Nerventransplantationen
   a N. medianus
   b N. ulnaris
   c N. medianus und N. ulnaris

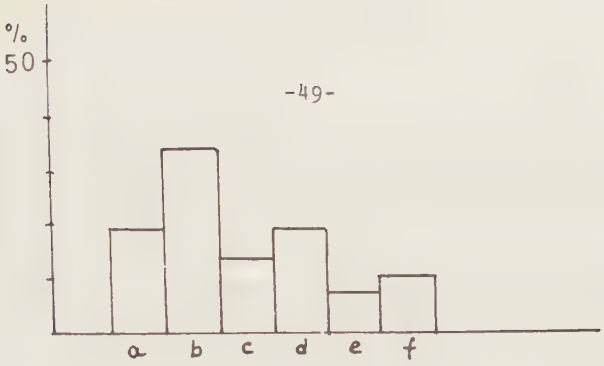


Abb.: 14
Art der Verletzung
a Schnittverletzungen
b Glasverletzungen
c Messerverletzungen
d Kreissägenverletzungen
e Sturz
f Autounfälle

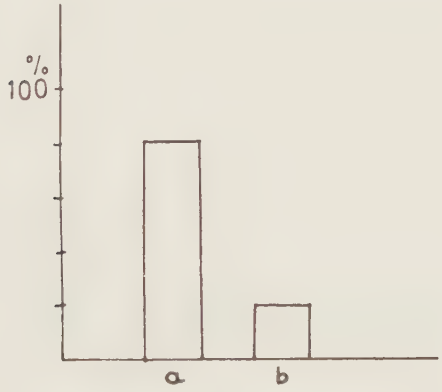


Abb.: 15
Verteilung der Verletzungen auf das Geschlecht

a) Männer
b) Frauen

Die Ursachen für die Verletzungen waren vielfältig (Abb.14), den höchsten Prozentsatz machten Glasverletzungen mit 33%, gefolgt von Schnittverletzungen irgendeiner Ursache mit 19%, Kreissägenverletzungen mit 17%, Messerverletzungen mit 13%, Autounfällen mit 10% und Stürze mit 7%.
Das Alter der Patienten lag zwischen 7 und 61 Jahren, dabei waren 1,5 % der Patienten in der Gruppe zwischen 0 - 10 Jahren, 25% der Patienten in der Gruppe zwischen 10 und 20 Jahren, 18% der Patienten in der Gruppe zwischen 20 und 30 Jahren, 12 % der Patienten in der Gruppe zwischen 30 und 40 Jahren, 20 % der Patienten in der Gruppe zwischen 40 und 50 Jahren, 11 % der Patienten in der Gruppe zwischen 50 und 60 Jahren, und 1,5% der Patienten waren über 60 Jahre alt (Abb.16).
Die Verletzungen treten folglich in allen Altersgruppen auf, mit einem kleinen Maximum in der Altersgruppe zwischen 10 und 20 Jahren.

6.2. Abhängigkeit des Resultats der Nervennaht vom Alter des Patienten und von dem Zeitintervall zwischen Trauma und Operation.

Nur relativ wenig Patienten wurden sofort nach dem Unfallereignis in die Handchirurgische Klinik eingewiesen. Ein großer Teil der betroffenen wurde zuerst von einem Hausarzt primär versorgt und erst später, als der Nervenschaden offensichtlich wurde, an die Klinik zur Weiterbehandlung eingewiesen. So ergaben sich relativ große Zeitabschnitte zwischen Trauma und Nervennaht von einigen Stunden und 5 Jahren.

Bei einer sofortigen Operation der durchtrennten Nerven (Primärnaht) resultierte häufig ein gutes Ergebnis bezüglich der Motorik und Sensibilität (Abb.17).
Sehr deutlich wird auch die Beziehung zwischen Zeitintervall Trauma/Operation und Resultat der Nervennaht, wenn

man Abb. 18 und Abb.19 betrachtet. In der Zeitspanne zwischen 0 - 6 Wochen, also die Zeit der Primärnaht und frühen Sekundärnaht werden deutlich die besten Resultate bezüglich Motorik (M_4,M_5,) und Sensibilität (S_4) erzielt. Für die anderen Zeiträume, 7 - 12 Wochen, 4 - 6 Monate, 7 - 12 Monate und 2 Jahre ergaben sich relativ ähnliche Ergebnissmuster. Entscheidend ist folglich nur die kurze Zeitspanne von 0 - 6 Wochen, was also einer Primärnaht oder frühen Sekundärnaht entspricht.
Jugendliche - in dieser Untersuchung 7 - 20 Jahre - wurden besonders berücksichtigt. Abb. 20 zeigt das Ergebnis der Nervennähte bei Jugendlichen, verglichen mit Erwachsenen, d.h. Patienten von 21 - 61 Jahren. Die Gruppe der Jugendlichen weist dabei bei allen Nervenverletzungen sehr gute Resultate auf. Bezüglich der Sensibilität haben beim N. medianus 60% die Einteilung S_{3+} und S_4 erreicht, beim N. ulnaris 75% und bei den Digitalnerven 83%.
Das ist ein bemerkenswertes Ergebnis.
Die Motorik verzeichnet entsprechend gute Untersuchungsergebnisse. Beim N. medianus hatten 80% die Einteilung M_4 und M_5 erreicht und beim N. ulnaris 75%.

6.3. Nervennähte

Nervennähte wurden am N. medianus (9), N. ulnaris (6) und an den Digitalnerven (31) durchgeführt.
Die Untersuchungsergebnisse (Abb.21) bezüglich der Sensibilität waren recht zufriedenstellend. Ein gutes Ergebnis (S_3-S_4) konnte beim N. medianus bei 55% beobachtet werden, beim N. ulnaris bei 66% und bei den Digitalnerven bei 58%.
Die Befunde für die Motorik (gute Resultate mit M_4-M_5) lagen ähnlich. Beim N. medianus konnte bei 55% der Patienten

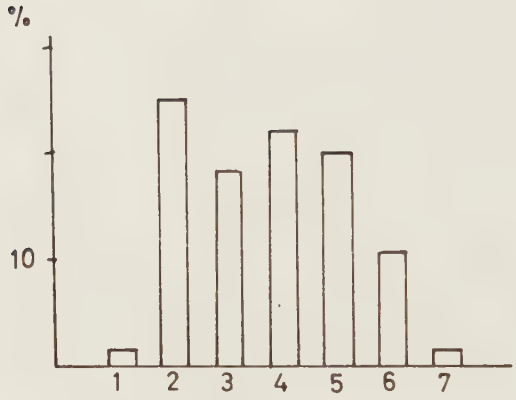
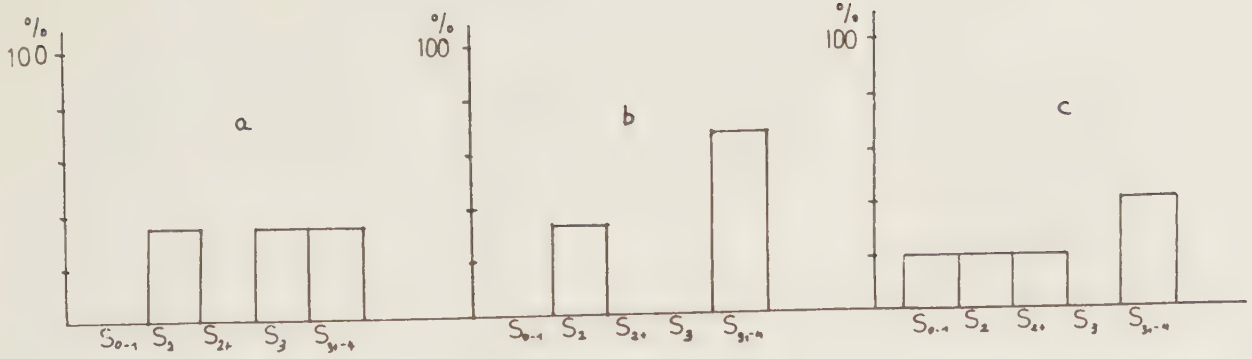


Abb.: 16

Verteilung der peripheren Nervenverletzungen auf die Altersgruppen.
Die prozentuale Aufteilung ist gegen die Lebensjahrzehnte aufgetragen.



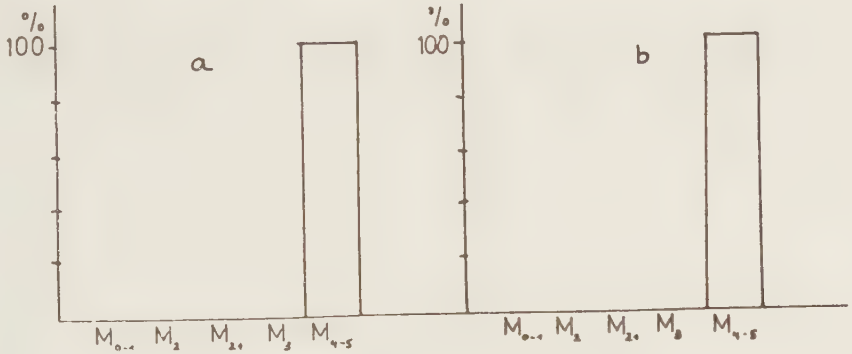


Abb.: 17
Primärnähte - Ergebnisse der Sensibilität (S_0-4) und Motorik (M_0-5)

a N. medianus
b N. ulnaris
d Digitalnerven

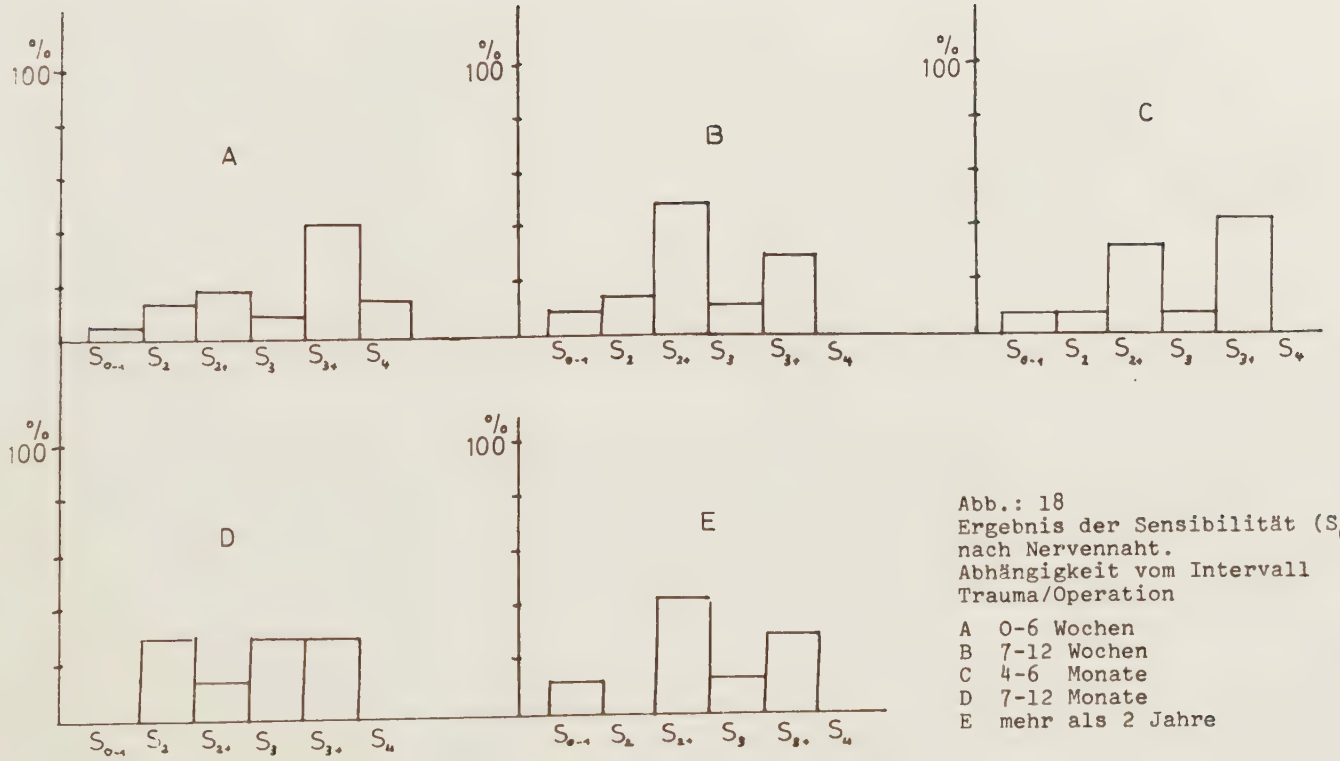


Abb.: 18
Ergebnis der Sensibilität (S_{0-4}) nach Nervennaht.
Abhängigkeit vom Intervall Trauma/Operation

A 0-6 Wochen
B 7-12 Wochen
C 4-6 Monate
D 7-12 Monate
E mehr als 2 Jahre

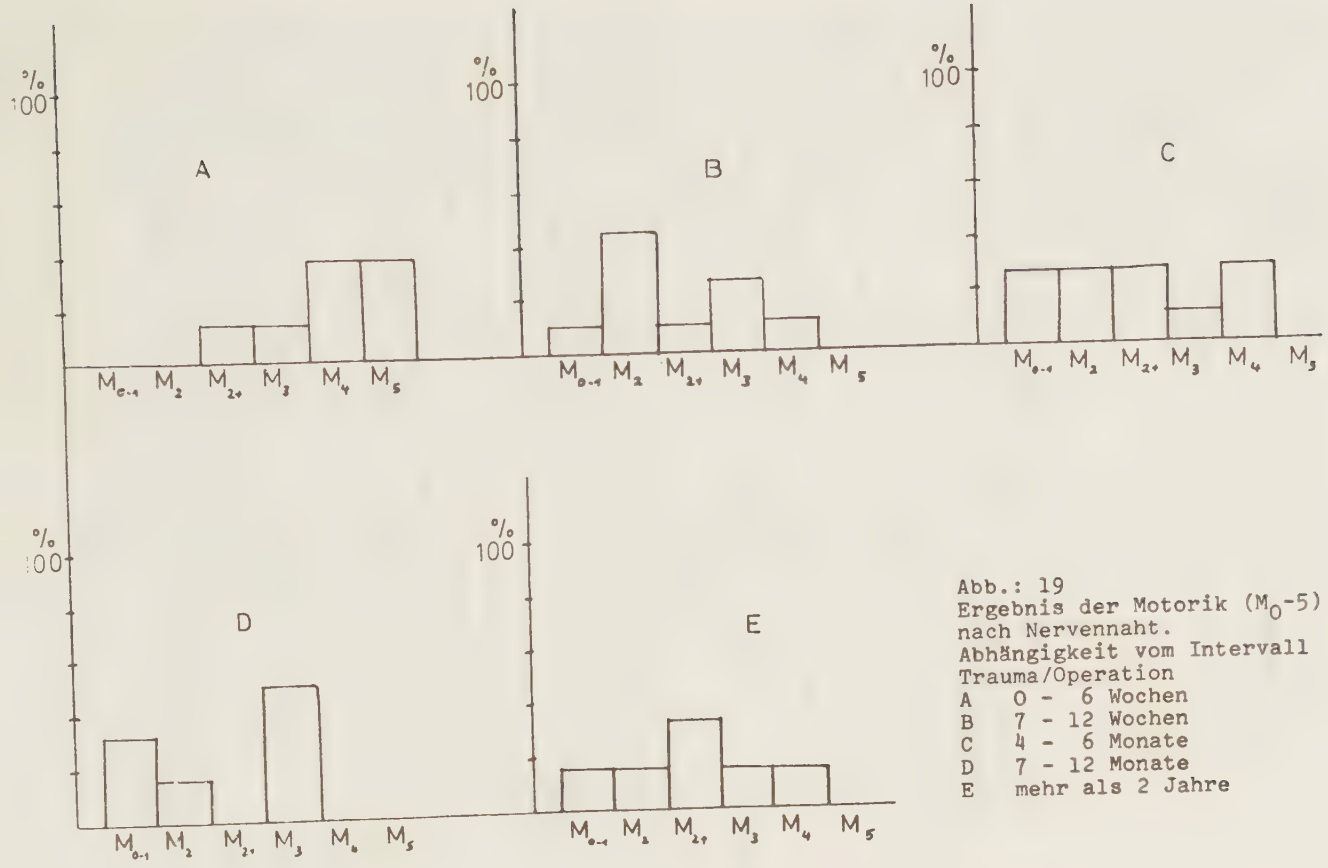


Abb.: 19
Ergebnis der Motorik (M_0-5) nach Nervennaht.
Abhängigkeit vom Intervall Trauma/Operation
A 0 - 6 Wochen
B 7 - 12 Wochen
C 4 - 6 Monate
D 7 - 12 Monate
E mehr als 2 Jahre

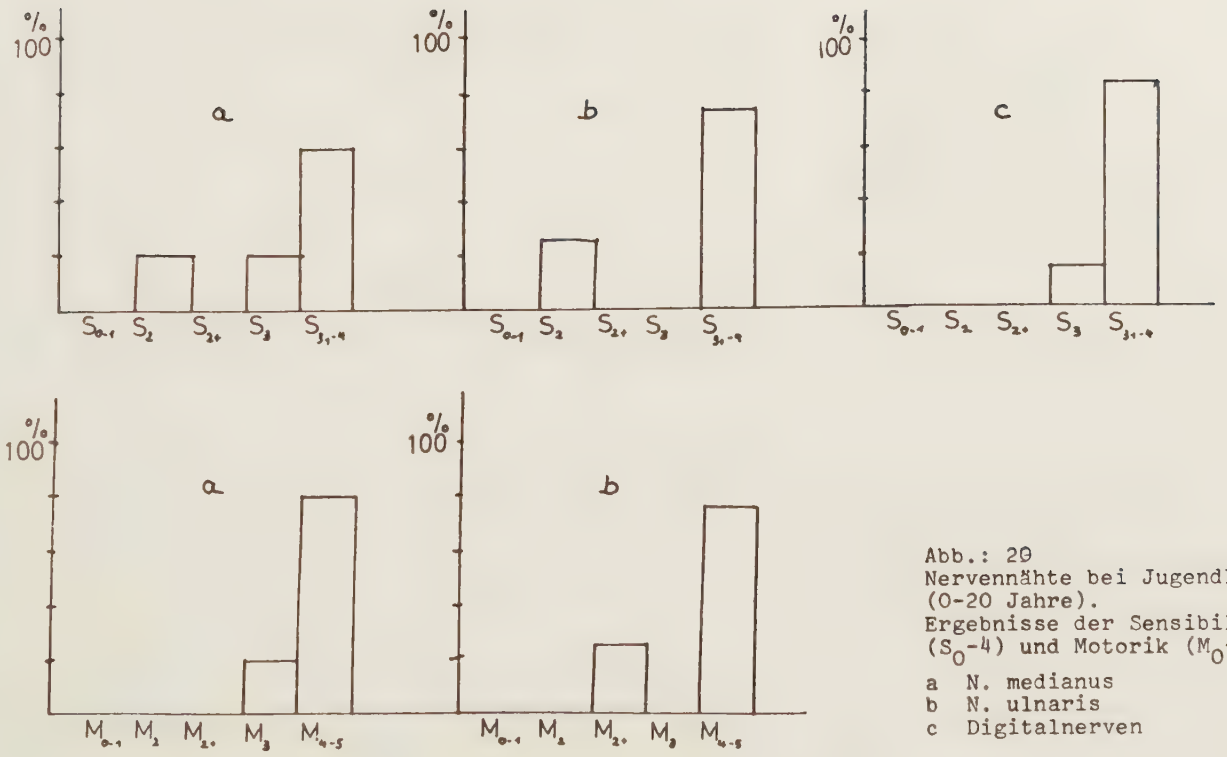


Abb.: 20
Nervennähte bei Jugendlichen (0-20 Jahre).
Ergebnisse der Sensibilität (S_0-4) und Motorik (M_0-5)

a N. medianus
b N. ulnaris
c Digitalnerven

und beim N. ulnaris bei 50% der Patienten ein gutes Ergebnis festgestellt werden. Bezüglich der Zeitspanne Trauma/Operation siehe Abb. 18 und 19.
Primärnähte wurden in der Abb. 17 und jugendliche Patienten in der Abbildung 20 gesondert aufgeführt.

6.4. Nerventransplantationen

Als Nerventransplantat wurde bei dieser Nachuntersuchung ausschließlich autologes Material vom N. suralis verwendet. (43). Beim Nachuntersuchungstermin gaben die meisten Patienten Beschwerden an der Nerventnahmestelle des Beines an. 5% der Patienten klagten über ein Kältegefühl, 5% über Steifigkeit, 26% über Schmerzen und 63% über ein taubes Gefühl am Bein.
Es wurden 8 Transplantationen des N. medianus und 15 Transplantationen des N. ulnaris nachuntersucht (Abb.22).
Es fällt auf, daß die Resultate weniger gut erscheinen als bei den einfachen Nervennähten.
Gute Sensibilitätsergebnisse (S_3-S_4) hatten 25% der Patienten beim N. medianus und 40% der Patienten bei Ulnarisverletzungen. Gute Motorikergebnisse (M_3-M_5) hatten 37,5% der Patienten bei Medianusverletzungen und 27% der Patienten bei Ulnarisverletzungen.
Ein wichtiger Gesichtspunkt scheint die Resektionslänge des Nerven zu sein. Gute Resultate sind im Durchschnitt nur bei kleinen und mittleren Defektstellen zu erreichen. Im allgemeinen bringen Distanzen über 8 cm größere Schwierigkeiten für die Technik und machen einen Erfolg oft sehr zweifelhaft (4).
Die Abb. 23 und 24 berücksichtigen die unterschiedlichen Resektionslängen und geben dazu ein Bild der gewonnenen Resultate. Es sind die Resektionslängen von 0 - 2,5 cm, 2,6 - 5,0 cm, 5,1 - 10 cm und die Längen ab 10 cm dargestellt worden.

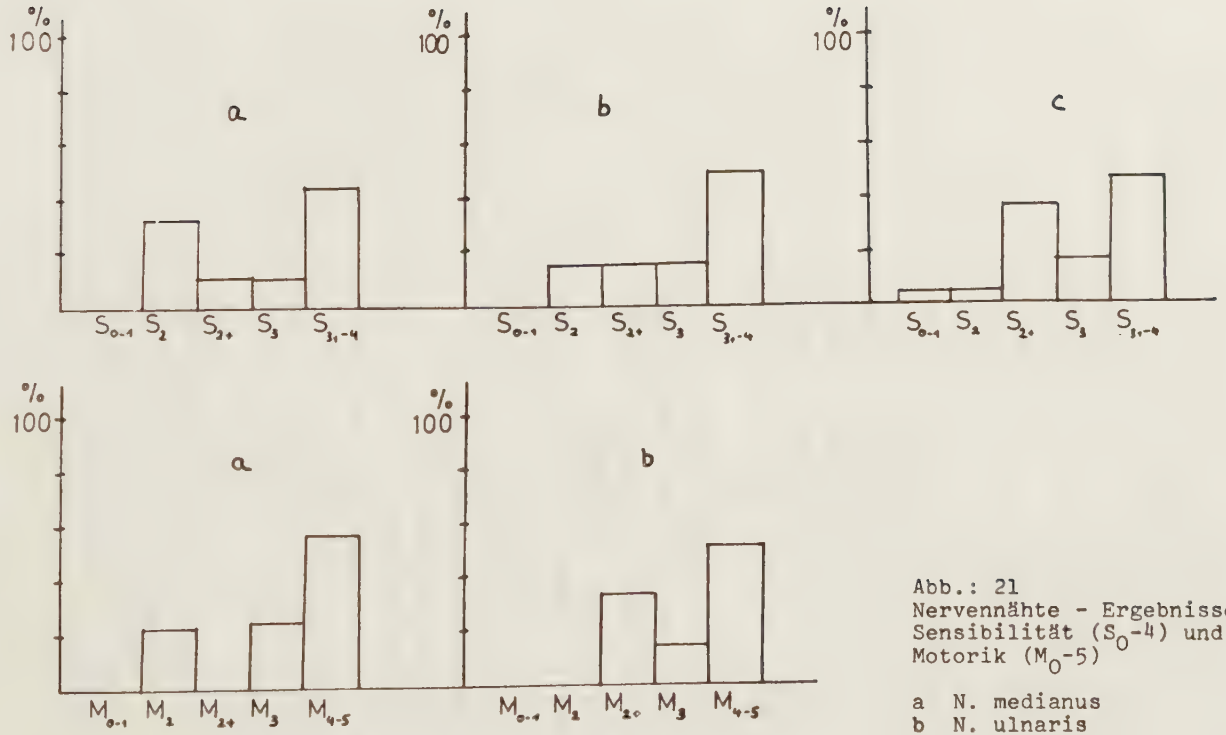


Abb.: 21
Nervennähte - Ergebnisse der Sensibilität (S_0-4) und Motorik (M_0-5)

a N. medianus
b N. ulnaris
d Digitalnerven

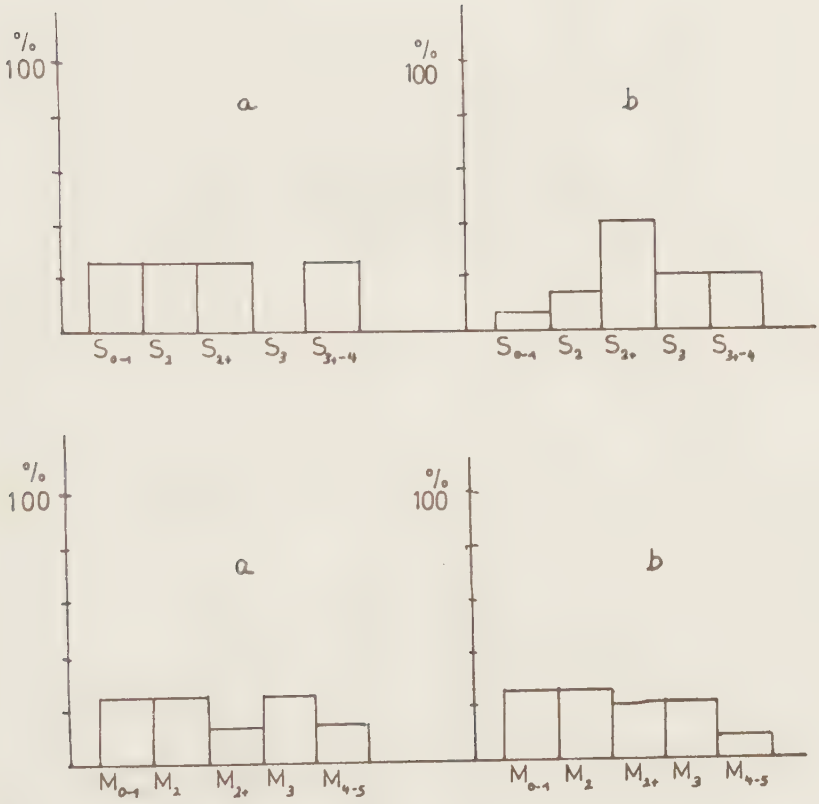


Abb.: 22

Ergebnisse der Sensibilität und Motorik bei Nerventransplantationen

a N. medianus
b N. ulnaris

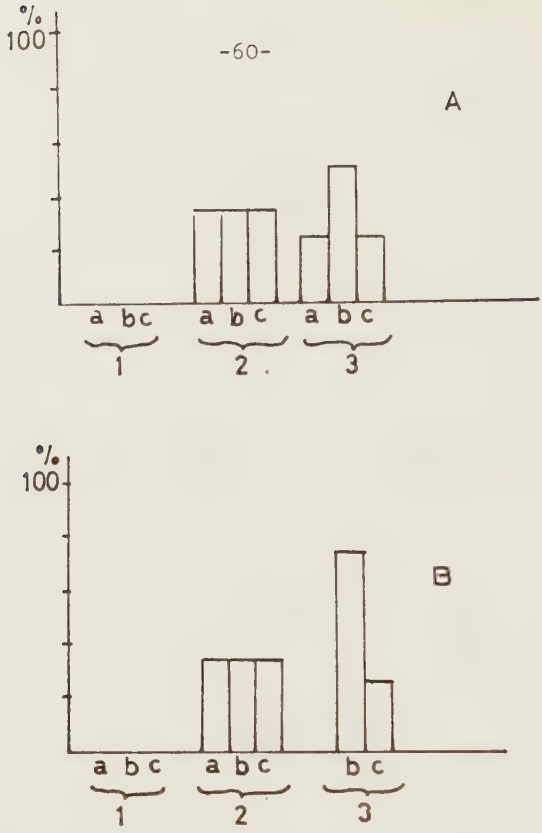


Abb.: 23

Nerventransplantationen bei N. Medianusverletzung.
Beziehung zur Länge des Defektes

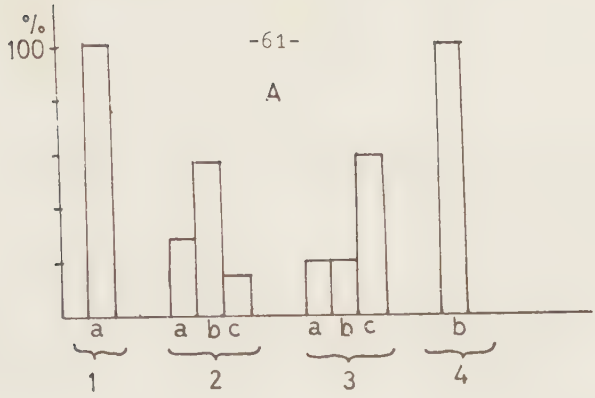
1. 0 - 2,5 cm
2. 2,6 - 5,0 cm
3. 5,1 - 10,0 cm

und zum Ergebnis der Motorik A

a M_3 . 5: gutes Ergebnis
b M_2 : befriedigendes Ergebnis
c M_1 : schlechtes Ergebnis

und der Sensibilität B

a S_3 - 4 : gutes Ergebnis
b S_2 : befriedigendes Ergebnis
c S_0 - 1 : schlechtes Ergebnis



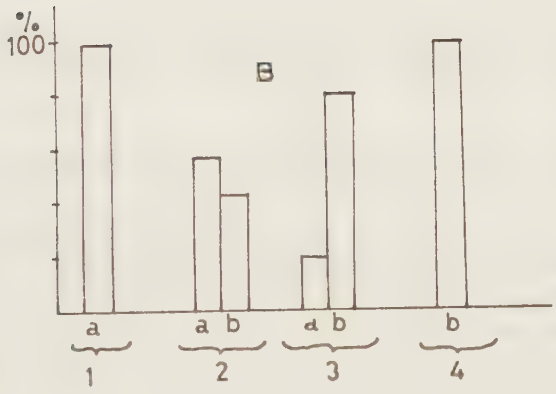


Abb.:24
Nerventransplantationen des N. ulnaris.
Beziehung zur Länge des Defektes und dem Ergebnis der Motorik A und der Sensibilität B

1. 0 - 2,5 cm
2. 2,6 - 5,0 cm
3. 5,1 - 10,0 cm
4. mehr als 10 cm

Bei A bedeuten

a) M_{3-5} : gutes Ergebnis
b) M^{2}_{1} : befriedigendes Ergebnis
c) : schlechtes Ergebnis

bei B bedeuten

a) S_{3-4}: gutes Ergebnis
b) S_{2} : befriedigendes Ergebnis
c) S_{0-1} : schlechtes Ergebnis

Für die Beurteilung der Ergebnisse wurde folgende Einteilung getroffen (11):

Motorik		Sensibilität	
M_3 - M_5	: gutes Ergebnis	S_3- S_4	: gutes Ergebnis
M_2	: befriedigendes Ergebnis	S_2	: befriedigendes Ergebnis
M_1	: schlechtes Ergebnis	S_0-S_1	: schlechtes Ergebnis

Gute Resultate sind bei größeren Resektionslängen ab 10 cm in dieser Nachuntersuchung nicht mehr festgestellt worden.

6.5. Tabellarische Zusammenfassung aller Patienten

Alle Patienten wurden nach dem gleichen Fragebogenschema nachuntersucht. Die nachfolgenden Tabellen geben einen genauen Überblick über das Patientengut und die einzelnen Untersuchungsergebnisse.
Für die endgültige Beurteilung der Sensibilität und Motorik und die Einteilung in die Werte S_0-S_4 bzw. M_0-M5 wurden alle Untersuchungsparameter zusammengefaßt.
Die Auswertung des EMG und die NLG ergänzten zudem die klinischen Untersuchungsresultate (22,23).

6.6. Vergleich der Resultate von Nervennähten mit den Resultaten anderer Autoren.

In der Literatur werden die Ergebnisse der Nervennähte im allgemeinen nach der Einteilung des Medical Council (M.R.C.R., 1954) ausgedrückt. Dabei gilt bei vielen Autoren gemeinsam die Einteilung S_3-S_4 und M_3-M_5 als ein gutes Ergebnis (11, 25,47).

Die anderen Einteilungen unterliegen individuellen Abweichungen.
Die nachfolgende Tabelle gibt einen Vergleich der eigenen Untersuchungsergebnisse mit denen anderer Autoren. (Tabelle 6)

Resultate von primären und sekundären Nervennähten

N. medianus

	gute Sensibilität $S_3 - S_4$	gute Motorik $M_3 - M_5$
Zachary (1954) (61)	11%	39 %
Seddon (1957) (44)	24%	65 %
Mc Ewan (1961) (24)	82%	80 %
Millesi (1976)(26)	100%	57 %
München (1981)	55%	77 %

N. ulnaris (Tabelle 7)

	gute Sensibilität $S_3 - S_4$	gute Motorik $M_3 - M_5$
Zachary	38%	16%
Seddon	68%	35%
M. Ewan	91%	47%
Millesi	100%	66%
München	66%	66%

An Hand von Tabelle 6 und 7 kann man sehen, daß die Ergebnisse der Nervennähte bei der vorliegenden Nachuntersuchung durchaus vergleichbar mit den Werten von Millesi sind.

Die Resultate der Nerventransplantationen liegen jedoch nicht so günstig. Für den N. medianus wurden in 25% ein gutes Sensibilitätsergebnis und in 37% ein gutes Ergebnis der Motorik erzielt. Beim N. ulnaris lag in 40% ein gutes Sensibilitätsergebnis und bei 26% ein gutes Ergebnis der Motorik vor.

Tabelle 1: Nervennähte - N. medianus

Alter	Geschlecht	Ursache	Zeit zw. OP/Verletzung	Muskelkraft (Kpa) links/rechts	EMG	2PD (mm)	Arbeitsunfähigkeit	S	M
15	m	Glasverletzung	6 h	80/105	+	5	-	S_{3+}	M_5
18	m	Eisenverletzung	4-6h	90/80	-	20	-	S_3	M_4
18	m	Glasverletzung	6 Wochen	170/100	-	10	-	S_{3+}	M_4
19	m	Autounfall	1 Tag	125/4o	-	30	-	S_2	M_3
19	w	Sturz	5 Jahre	55/60	+	15	-	S_{3+}	M_5
22	m	Glasverletzung	2 Monate	-/80	+	30	-	S_{2+}	M_2
36	m	Glasverletzung	3 Monate	80/150	+	20	20%	S_2	M_3
56	m	Kreissägenverletzung	3 Monate	90/10	+	30	80%	S_2	M_2
61	m	Sturz	2 Monate	80/75	-	10	-	S_{3+}	M_4

Tabelle 2: Nervennähte - N. ulnaris

Alter	Geschlecht	Ursache	Zeit zw. OP/Verletzung	Muskelkraft (Kpa) links/rechts	EMG	2PD (mm)	Arbeitsunfähigkeit	S	M
7	m	Glasverletzung	4-6 h	50/50	-	15	-	S_{3+}	M_5
18	m	Glasverletzung	6 Wochen	170/100	-	10	-	S_{3+}	M_5
19	m	Autounfall	1 Tag	125/40	-	30	-	S_2	M_{2+}
20	m	Glasverletzung	6 - 8 h	160/170	+	15	-	S_{3+}	M_4
43	w	Schnittverl.	2 Monate	50/60	-	30	15%	S_{2+}	M_{2+}
48	m	Glasverletzung	1 Jahr	70/50	+	-	-	S_3	M_3

Tabelle 3: Nervennähte - Digitalnerven

Alter	Geschlecht	Ursache	Zeit zw. Trauma u. Operation	Ort der Verletzung	Muskelkraft	2 PD (mm)	Arbeitsunfähigkeit	S
15	m	Glasverletzung	8 h	D_3 li.	130/135	5	-	S_4
16	w	Glasverletzung	4 Wo.	D_1 li.	60/90	7	-	S_{3+}
17	m	Schnittverl.	2 Mo.	D_4,D_5 re.	145/130	10	-	S_{3+}
18	m	Messerverl.	2 Mo.	D_2,D_3 re.	140/60	10	-	S_{3+}
18	m	Messerverl.	1 Mo.	D_5 re.	120/100	12	-	S_3
20	m	Hackenverl.	6 Wo.	D_1 re.	140/145	7	-	S_{3+}
21	m	Kreissägenverl.	7 Wo.	D_1 li.	135/155	30	20%	S_2^+
23	w	Messerverl.	4 Mo.	Hohlhand li.	105/120	30	-	S_3
23	w	Glasverletzung	3 Mo.	D_2 li.	60/65	15	-	S_2^+
23	m	Schnittverletzung	6 Wo.	Hohlhand D_2 li.	136/150	10	-	S_{2+}
25	m	Kreissägenverl.	5 Mo.	D_1 re.	100/70	5	10%	S_{3+}
26	m	Kreissägenverl.	4-6 h	D_1,D_2 re.	150/90	30	-	S_2
27	m	Glasverletzung	6-8 h	D_1,D_2, D_3 links	5/130	30	40%	S_1
32	w	Kreissägenverl.	3 Mo.	D_1 li.	70/65	7	-	S_{3+}
33	m	Schnittverletzung	6 - 8 h	D_3,D_4, D_5 li.	40/95	40	20%	S_2
33	w	Glasverletzung	3 Mo.	D_1,D_2 li.	50/75	25	-	S_{2+}
34	m	Kreissägenverl.	4 Wo.	D_1 li.	65/80	30	-	S_{2+}

Tabelle 3: Nervennähte - Digitalnerven

Alter	Geschlecht	Ursache	Zeit zw. Trauma u. Operation	Ort der Verletzung	Muskelkraft	2 PD (mm)	Arbeitsunfähigkeit	S
35	m	Kreissägenverl.	6 Wo.	D_3-$_5$re.	120/40	30	30%	S_{2+}
36	m	Kreissägenverl.	6 - 8 h	D_2-$_3$re.	140/70	5	20%	S_4
36	m	Blechverletzung	9 Mo.	D_1 li.	80/100	7	-	S_{3+}
36	m	Schnittverletzung	2 Mo.	D_3 re.	100/80	30	-	S_{2+}
41	m	Messerverletzung	6 Wo.	D_4-$_5$re.	130/70	15	20%	S_3
44	m	Messerverletzung	14 Tage	D_1 li.	120/130	2	-	S_4
44	m	Schnittverletzung	1 Mo.	D_1 li.	60/65	10	-	S_{3+}
44	w	Sturz	3 Wo.	D_5 re.	60/50	5	-	S_4
46	m	Schnittverletzung	3 Mo.	D_5 li.	70/100	15	-	S_{3+}
48	m	Kreissägenverl.	1 Tag	D_1,D_3 re.	70/50	20	-	S_{3+}
51	w	Schnittverletzung	6 Wo.	D_1,Hohlhand re.	80/20	25	40%	S_{2+}
54	w	Hausarbeit	4 Mo.	D_2-$_3$re.	70/15	15	-	S_{2+}
56	m	Kreissägenverl.	1 Mo.	D_1 re.	100/105	10	-	S_{3+}
56	m	Glasverletzung	3 Mo.	Hohlhand D_2-$_3$li.	55/70	15	20%	S_{2+}

Tabelle 4: Nerventransplantation - N. medianus

Alter	Geschlecht	Ursache	Zeit zw. Trauma/OP	Muskelkraft Kpa li./ re.	EMG	2PD (mm)	Defekt-länge (cm)	Arbeitsun-fähigkeit	S	M
18	m	Autounfall	1 J.	130/65	+	30	?	40 %	S_{3+}	M_3
38	m	Kreissägen-verletzung	10 Mo.	20/100	+	15	6	20%	S_{2+}	M_3
41	m	Messerverl.	7 Wo.	110/40	-	35	5	-	S_0	M_2
59	m	Autounfall	5 J.	35/70	-	50	7	30%	S_1	M_2
17	m	Glasverl.	4 Mo.	55/130	+	15	5	-	S_{3+}	M_4
42	w	Fenster-reinigung	3 Mo.	95/-	+	35	3	50%	S_2	M_1
39	m	Messerverl.	1 J.	15/100	+	30	10	50%	S_{2+}	M_3
48	m	Autounfall	8 Mo.	15/100	+	40	7	70%	S_2	M_1

Tabelle 5: Nerventransplantation - N. ulnaris

Alter	Geschlecht	Ursache	Zeit zw. Trauma/OP	Muskelkraft Kpa li. / re.	EMG	2PD (mm)	Defekt-länge (cm)	Arbeitsun-fähigkeit	S	M
11	m	Glasverl.	3 Mo.	120/85	+	10	3,5	-	S_3	M_2
20	m	Flaschen-verletzung	2 J.	110/140	-	10	2,5	-	S_3	M_{2+}
20	m	Glasverl.	4 Mo.	80/100	-	25	4	-	S_{2+}	M_{2+}
21	m	Blechverl.	5 Mo.	130/165	-	15	3,5	-	S_{3+}	M_{2+}
21	m	Autounfall	8 Mo.	60/110	+	15	10	-	S_3	M_3
26	w	Glasverl.	1 J.	105/40	+	30	6	30%	S_{2+}	M_{1+}
28	m	Autounfall	3 Mo.	35/140	+	10	6	20%	S_{2+}	M_{1+}
30	w	Bruch	11/2 J.	80/50	+	25	13	20%	S_{2+}	M_3
37	m	Glasverl.	5 Mo.	100/90	+	7	3	-	S_{3+}	M_3
46	m	Bruch	3 Mo.	50/95	+	5	6	-	S_{2+}	M_2
53	m	Motorsäge	3 Mo.	70/10	-	30	?	50%	S_1	M_2
17	m	Glasverl.	4 Mo.	55/130	+	15	4	-	S_{3+}	M_4
42	w	Fensterverl.	3 Mo.	95/-	+	35	3	50%	S_{2+}	M_1
39	m	Messerverl.	1 J.	15/100	+	30	5	50%	S_{2+}	M_3
48	m	Autounfall	8 Mo	15/100	+	30	9	70%	S_2	M_1

7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Resultate der mikrochirurgischen Operation der peripheren Nerven, eingeführt von Smith 1964 und von Millesi weiterentwickelt zur interfaszikulären Nerventransplantation, sind verglichen mit früheren Autoren wie Seddon, Sakellarides und Mc Ewan stark verbessert worden.
Millesi stellte 1972 nachstehende Folgerungen für eine erfolgreiche Nervennaht auf:

1.) Das meiste Gewebe, welches die Heilung der Nervennaht verhindert, wird durch Fibroblasenaktivität hervorgerufen, das dem Epineurium entspringt.

2.) Je größer die Spannung in der Nervennaht ist, um so größer ist auch die Menge des fibroblastischen Gewebes.

3.) Eine exakte Annährung der entsprechenden Faszikel der beiden Nervenenden ist nur möglich, wenn absolute Spannungsfreiheit vorhanden ist.(55)

4.) Nach der Wiederherstellung der Kontinuität von verletzten Nerven durch eine Nerventransplantation wachsen die Axone in großer Zahl in das distale Nervenende ein.

Seit 1970 wird in der Handchirurgischen Klinik München die interfaszikuläre Nervennaht nach Millesi durchgeführt.
Die vorliegende Nachuntersuchung umfaßt das Patientengut von 1974 - 1980; es lagen bei allen Patienten zum Zeitpunkt

der Nachuntersuchung also mindestens 1 Jahr bis 7 Jahre vor, so daß man mit guten Reinnervationserfolgen rechnen konnte. Obwohl bei vielen Patienten der Zeitpunkt der Operation schon länger zurücklag, wurden bei 41% der Patienten eine Neurombildung beobachtet, bei 34% war das Hoffman-Tinnelsche Zeichen positiv. Millesi berichtete 1975, daß er bei keinen Patienten eine Neurombildung beobachtet habe.

Besonders fällt bei dieser Nachuntersuchung auf, daß die Ergebnisse bei Jugendlichen (0-20 Jahre) alle sehr gut waren. Dieser Befund deckt sich auch mit anderen Autoren, wie Mc Ewan und Millesi.

Man kann demnach das Patientengut in 2 Gruppen einteilen; in Jugendliche von 0 - 20 Jahre und Erwachsene, also Personen über 20 Jahre. Für die 2. Gruppe ist der Heilungsprozess insgesamt etwas ungünstiger.

Betrachtet man den Zeitabstand zwischen Trauma und Operation, so werden in der Literatur 3 Möglichkeiten diskutiert:

1.) Die Primärnaht am gleichen Tag

2.) die frühe Sekundärnaht, Zeitabstand bis zu 6 Wochen

und

3.) die späte Sekundärnaht, 3-4 Monate später.

In dieser Untersuchung wurde festgestellt, daß die Primärnaht nicht diese entscheidende Resultate brachte, die man eigentlich erwarten könnte.

Die besten Ergebnisse wurden bei der frühen Sekundärnaht, meist zwischen der 3. bis 5.Woche, nachgewiesen.
Millesi diskutierte analog über den Zeitpunkt der Operation und lehnte sogar strikt die Primärnaht ab. Er ließ sie lediglich dann als einzige Ausnahme gelten, wenn sehr saubere Wundverhältnisse vorlagen.
Komplizierende Begleitverletzungen sind für die Heilungserfolge einer Nervennaht entscheidend und können die Resultate ungünstig beeinflussen. Wichtig sind vor allen Schädigungen der arteriellen Blutversorgung, deren schwerste Folge die ischämische Muskelkontraktur darstellt.
In der vorliegenden Nachuntersuchung traf dies bei 6 Patienten zu ; die Ergebnisse waren auch verglichen mit dem übrigen Patientengut merklich schlechter.
Aber auch andere Begleitverletzungen wie Gelenkschäden und Knochenverletzungen, wie sie häufig bei Kreissägenverletzungen zu beobachten sind (17% Kreissägenverletzungen mit teilweise Amputationen) können zu einem Mißerfolg führen.
Die Ausdehnung der Nervenverletzung spielt für die Regeneration an sich keine Rolle. Dagegen kann eine ausgedehnte Nervenverletzung wegen der entstandenen Nervendefektstelle große technische Schwierigkeiten bereiten. Man weiß, daß bei zu großen Spannungen die Nerven solch starken Zugkräften ausgesetzt sind, daß sie eine Regeneration verhindern. (39).
Nach Millesi sollte grundsätzlich jegliche Spannung verhindert werden und notfalls mit einem Transplantat ausgeholfen werden.

Sunderland berichtet jedoch, daß eine Verlängerung bis zu 6% von allen Nerven gut vertragen werden (50,51). Die Ergebnisse der Nervennähte von N. medianus und N. ulnaris waren vergleichbar mit Millesi und können als Erfolg angesehen werden.

Die Resultate der Nerventransplantationen waren nicht so günstig. Dabei muß natürlich die Länge des Transplantates, die Schwere der Verletzung und der Zeitpunkt der Operation mit in die Diskussion gezogen werden.

Abb 23 und 24 zeigen den Bezug von Defektlänge und dem Resultat der Nachuntersuchung. Es ist bekannt, daß mit einer Defektlänge von 8 cm und mehr die Erfolgsaussichten stark abnehmen (2).

Zudem wurden die Nerventransplantationen bei den meisten Patienten zu einem relativ späten Zeitpunkt ausgeführt. 13% der Patienten wurden nach 7-12 Wochen, 34% nach 4-6 Monaten, 17% nach 7-12 Monaten und 30% nach mehr als 1 Jahr operiert.

Die Ergebnisse der Nervenoperationen sind nicht so ohne weiteres zu beurteilen. Es fällt besonders auf, daß die Verletzten bei der Beurteilung der Ergebnisse selbst nicht so zufrieden sind, wie die Behandelnden.

Ein Patient wertet im allgemeinen eine leichte Besserung der Sensibilität nicht als Erfolg. Die mit der Wiederkehr der Sensibilität verbundenen, häufig schmerzhaften oder

doch unangenehmen Parästhsien werden bie vielen Patienten beklagt und nicht als Verbesserung anerkannt.
Leider werden bei der heutigen Sozialstruktur aber auch echte objektive Verbesserungen von den Verletzten selbst geleugnet oder herabgesetzt. Dies schlägt sich in den Ergebnissen insofern nieder, als beispielsweise die Mißerfolge bei Sozialversicherten deutlich höher liegen als bei Nichtversicherten.
Eine wichtige Rolle für den Erfolg einer Nervennaht spielt die Krankengymnastik.
Patienten, die zu Hause ihre Übungen durchführten, verfügten über eine wesentlich bessere Beweglichkeit und zeigten eine geringere Muskelatrophie.
94% der Patienten gaben an, krankengymnastische Übungen durchgeführt zu haben, 64% gingen für einen gewissen Zeitraum regelmässig zur Massage und 63% erhielten Elektrostimulationen.
Über den Erfolg der Elektrostimulationen findet man in der Literatur geteilte Meinungen. Es besteht jedoch Einigkeit, daß die Elektrotherapie die Reinnervation nicht zu beschleunigen vermag. Die Muskelatrophie kann ebensowenig verhindern, sondern nur verzögert werden.
Sehr viele Patienten mußten bei der Nachuntersuchung nochmals angehalten werden, wieder krankengymnastische Übungen zu Hause durchzuführen; insbesondere um bei gelähmten Extremitätenabschnitten Gelenkversteifungen und Kontrakturen entgegenzuwirken.

Im Hinblick auf den Operationserfolg sind sicher die örtlichen Möglichkeiten einer gezielten Nachbehandlung, der Wille des Patienten zur eigenständigen Mitarbeit nach durchgeführter Anleitung und seine gesamte Persönlichkeitsstruktur nicht unwesentlich.

8. ZUSAMMEFASSUNG

Schwere periphere Nervenverletzungen ereignen sich regelmäßig. Seit 1970 werden Nervendurchtrennungen und Beschädigungen mit Hilfe des Mikroskopes nach der Methode von Millesi in der Handchirurgischen Klinik München operiert.
Die vorliegende Untersuchung umfaßt den Zeitraum von 1974 bis 1980. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lagen die Operationen 1 bis 7 Jahre zurück.
Es wurden 75 Nervennähte nachuntersucht; dabei fielen 66% auf einfache Nervennähte (67% Digitalnerven, 19% Nerv medianus und 13% Nerv ulnaris) und 33% auf Nerventransplantationen mit dem Spendernerv N. suralis (35% N.medianus und 65% N. ulnaris).

Die Männer waren zu 80%, die Frauen zu 20% betroffen, das Alter der Patienten lag zwischen 7 und 61 Jahren.

Bei den Ergebnissen fällt auf, daß Jugendliche (1.Gruppe 0-20 Jahre) wesentlich bessere Resultate zeigen als die Erwachsenen (2.Gruppe, ab 20 Jahre).
Primärnähte zeigen bei dieser Nachuntersuchung kein besseres Ergebnis als Sekundärnähte. Gelegentlich schien die frühe Sekundärnaht, 3-5 Wochen, die besten Resultate bezüglich Sensibilität und Motorik zu zeigen.

Die Ergebnisse der Nervennähte können als gut angesehen werden und sind vergleichbar mit den Ergebnissen von Millesi.
Nerventransplantationen waren nicht so erfolgversprechend. Hier muß auch die Schwere der Begleitverletzungen, die Länge des Transplantates und der Zeitpunkt der Operation mitberücksichtigt werden.

9. LITERATUR

1.) Bettag, W.:
Nervenverletzungen: Möglichkeiten, Aussichten, Grenzen der operativen Behandlung
Diagnostik 14: 343-348 (1981)

2.) Bielschowsky, M. und Unger, E.:
Überbrückung großer Nervenlücken. Beiträge zur Kenntnis der Degeneration und Regeneration peripherer Nerven
J. Physiol. Neurol. 22, 267 (1917)

3.) Brown, M.C., Ironton, R.:
Sprouting and regression of neuromuscular synapses in partially denervated mammalian muscle
J. Physiol. 278, 325-348 (1978)

4.) Bunnel, S.:
Surgery of the nerves of the hand
Surg. Gynec Obst. 44, 145 (1927)

5.) Ducker, T.B.:
Metabolic factors in surgery of peripheral nerves
Surg. Clin. of North America 52, 105 (1972)

6.) Droz, B.:
Protein metabolism in the nerve cells.
Int. Rev. Cytol. 25, 363-390 (1969)

7.) Eder, M., P. Gedigk:
Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und pathologischen Anatomie: Springer Verlag (1977)

8.) Erlanger, J., H.S. Gasser:
Electrical signs of nervous activity
University of Pennsylvania Press, Philadelphia (1937)

9.) Foerster, O.:
Spezielle Anatomie und Physiologie der peripheren Nerven
In: Handbuch der Neurologie: Springer Verlag (1929)

10.) Ganong, W.F.:
Lehrbuch der medizinischen Physiologie
Springer Verlag, Berlin (1974)

11.) Geldmacher, J.:
Die Wiederherstellung verletzter Nerven
MMW 2675-2679, 52, (1969)

12.) Goodgold, J., A. Eberstein:
Electrodiagnosis of neuromuscular diseases
Williams & Wilkins, Baltimore (1972)

13.) Hakstian, W.:
Funicular orientation by direct stimulation
J of Bone and Joint Surgery, 59 A, 1178-1186 (1969)

14.) Host, H.J.:
Primary peripheral repair in the hand and upper extremity
J Trauma 15, 909 (1975)

15.) Jacoby, W., R. Fahlbusch:
Überbrückung peripherer Nervendefekte mit lyophilisierten und desantigenisierten homologen Transplantaten
MMW 15, 586-589 (1970)

16.) Jacoby, W., R. Fahlbusch:
Transplantationen lyophilisierter homoioplastischer Nerven zur Überbrückung peripherer Nervendefekte beim Menschen
Fortschr. Med. 88, 183-184 (1970)

17.) Jacoby, W., R. Fahlbusch, B. Mackert:
Fortschritte in der Behandlung peripherer Nervenverletzungen
Fortschr. Med. 89, 181-223 (1971)

18.) Jung, R.:
Einführung in die allgemeine Neurophysiologie
In: Physiologie des Menschen Bd X, hrsg.von O.H.Gauer, K.Kramer, R.Junge.
Urban & Schwarzenberg, München (1971)

19.) Kessel, F.K., L. Guhmann, G. Maurer:
Neurotraumatologie
Urban und Schwarzenberg, München (1970)

20.) Kugelberg, E.:
Activation of human nerves by ischaemia
Arch. Neurol. Psychiatr. (Chic) 60, 410 (1948)

21.) Kugelberg, E.:
Electromyograms in muscular disorders
J.Neurol.Neurosurg. Psychiat. 10, 122 (1947)

22.) Lennon, J.A.R., A.E. Ritchie:
Introduction to clinical electromyography,
Pitman, London (1970)

23.) Ludin, H.P.:
Physiologie des Menschen und normales Elektrogramm. In: Elektromyographie, hrsg.von
H.C.Hopf, A.Struppler, Thieme, Stuttgart (1974)

24.) Mc Ewan, L.E.:
Median and ulnar nerve injuries
Austr. N.Z. J. Surg. 32, 89 (1962)

25.) Millesi, H.:
Dokumentation und Bewertung prae- und postoperativer Befunde im Rahmen der Wiederherstellung verletzter peripherer Nerven
Med. Mitt(Melsungen) 46 H 116, 253-259 (1972)

26.) Millesi, H.:
Further experimence with interfascicular grafting of the median, ulnar and radial nerves
J of Bone and Joint Surgery 58 A 209-218 (1976)

27.) Millesi, H.:
Facial nerve suture. In: Proc of the third int. symp. on facial nerve surg.
9-12 Aug. (ed. U.Fisch) 1976, Kugler medical publications B.V. (1977)

28.) Millesi, H.:
The interfascicular nerve-grafting of the median and ulnar nerves
J of Bone and Joint Surgery 54 A, 727-750 (1972)

29.) Millesi , H.:
Wiederherstellung durchtrennter peripherer Nerven und Nerventransplantationen
MMW 52, 2669-2674 (1969)

30.) Millesi , H., Ganglberger, J., Berger, A.:
Erfahrungen mit der Mikrochirurgie peripherer Nerven
MMW 111 (1969)

31.) Mumenthaler, M.:
Die Ulnarisparesen.
Thieme Verlag Stuttgart 1961

32.) Mumenthaler, M., H. Schliack:
Läsionen peripherer Nerven
Thieme Verlag Stuttgart (1977)

33.) Owen, E.:
The operations microscope isn't everything - a warning and a prediction
J. of Bone and Joint Surgery 58 A, 397-398 (1976)

34.) Peyronnard, J.-M., L. Charron:
Muscle reorganization after partial denervation and reinnervation
Muscle & nerve 3 (6) 509-518 (1980)

35.) Rijuders Wilten:
The microsurgial treatment of patients with sharp nerve lesions
Dissert.Utrecht
Univ. med. Fakt (1979)

36.) Röhricht, K.:
Kompressionssyndrome des N. ulnaris im Sulcus ulnaris und im Canale de Guyan
Dissert. München (1977)

37.) Röttgen, P., R. Wüllenweber:
Die Chirurgie der peripheren Nerven
In: Handbuch der Neurochirurgie VII/3
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg (1974)

38.) Romberg, M.H.:
Lehrbuch der Nervenkrankheiten
Dunker, Berlin (1846)

39.) Samil, S., Wallenborn, R.:
Tierexperimentelle Untersuchung über den Einfluß der Spannung auf den Regenerationserfolg nach Nervennaht
Acta neurochirurgica 27, 87 (1972)

40.) Sakellarides, H.:
A follow up study of 137 peripheral nerve injuries in the upper extremity in civilians
J. of Bone and Joint Surg. 44 A 140 (1962)

41.) Seeligmüller, :
Ischias. In: Realenzyklopädie der gesamten Heilkunde, 3. Aufl. Bd. XII Eulenburg
Urban & Schwazenberg, Wien (1897)

42.) Schröder, J.M., Seiffert, K.E.:
Die Feinstrukturen der neuromatösen Neurotisation von Nerventransplantationen
Virch. Arch. Abtlg. B. Zellpath. 5 219-235 (1970)

43.) Schröder, J.M., Seiffert, K.E.:
Untersuchungen zu homologen Nerventransplantationen:
Morphologische Ergebnisse Zbl Neurochirg. (1972)

44.) Seddon, H.J.:
Fortschritte in der Behandlung von Nervenverletzungen,
Triangel (Sandoz) 8, 252-259 (1968)

45.) Seddon, H.J.:
The practical value of peripheral nerve repair.
Proc. Roy. Med. 427-436 (1949)

46.) Seddon, H.J.:
Classification of nerve injuries
Brit.med.J. 237-239 (1942)

47.) Seddon, H.J.:
Peripheral nerve injuries
Her Majesty's Stationery office London (1954)

48.) Smith, J.W.:
Microsurgery of peripheral nerves
Plast. reconstr. surg. 33, 317 (1964)

49.) Sunderland, S.:
Nerves and nerve injuries. E & S Livingstone Ltd.
Edingburgh and London (1968)

50.) Sunderland, S., Sydney, :
Factors influencing the course of degeneration
and the quality of the recovery after nerve
suture,
Brain 75, 19-54 (1953)

51.) Sunderland, S., Sydney:
Funicular suture and funicular exclusion
in repair of severed nerves
Brit. J. Surg. 40: 580-587 (1953)

52.) Sunderland, S.:
Nerves and nerve injuries.
Churchill Livingstone Sec Cd. (1978)

53.) Sunderland, S.:
A classification of peripheral nerve injuries
producing loss of functions
Brain 74, 491 (1951)

54.) Strappler, A.:
Myographie in der Facialis- und Handchirurgie
Chir. Plast. reconst. 8, 3-8 (1970)

55.) Thomas, P.K.:
The connective tissue of peripheral nerve:
An electronic microscopy study
J Anat. Lond. 97, 1 (1963)

56.) Tinel, J.:
Le signe du fourmillement dans les lesions
des nerfs périphériques
Presse Medical 23, 388 (1915)

57.) Vicholson, O.P., Seddon, H.J.:
Nerve repair in cicil practice
Results of treatment of median and ulnar
nerve lesion
Br. med. J. 2, 1065 (1957)

58.) Waller, A.:
Experiments on the section of the glosso-pharyngeal and hypoglossal nerves of the frog and observations of the alteration produced thereby in the structure of their primitive fibers
Philos. Frans. Roy. Soc. Lond. 140, 423-429 (1850)

59.) Waller, A.:
Sur la réproduction des nerfs et sur la structure et les fonctions des ganglions spinaux
Arch. Anat. Physiol. und Wiss.Med. 392-401 (1852)

60.) Wilhelm, K.:
Klinische Resultate nach homologen Nerveninterpositionen mit lyophilisierten Nerven
Med. Mitt (Melsungen) 46 A 116, 231-238 (1972)

61.) Zachary, R.B.:
Results of nerve sature, in:
Peripheral nerve injuries (Seddon, H.J., editor)
Medical research council special report series 282, H.M. Stationary office 1954

10. LEBENSLAUF

31.10.51	Geburt in Heidelberg drittes Kind der Eltern: Dipl.Ing. Kurt Willershausen und Gertrud Willershausen, geb. Karle
1958 - 62	Volksschule in Würzburg
1962 - 63	Gymnasium in Würzburg
1963 - 71	Gymnasium in Dachau mit Abschluß Abitur
1971 - 77	Studium der Chemie an der Universität München mit Abschluß Diplom
1976 - 79	Studium der Humanmedizin an der Universität München einschließlich 1. Staatsexamen März 1979
1978 - 80	Wissenschaftliche Assistentin am Physiol.Institut der Universität München
1978	Eheschließung mit Dr.Bernhard Zönnchen, Internist
1979 - 83	Studium der Zahnmedizin an der Universität München Staatsexamen Frühjahr 1983